



Program **Prostředí pro život**

Project TAČR SS05010124

**Hodnocení vlivu změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii a klima
v Krkonošském národním parku s využitím dálkového průzkumu Země
a hydrologického modelování**

Souhrnná zpráva o výsledcích řešení projektu v letech 2024 a 2025

Autoři zprávy a výstupů v letech 2024 a 2025

PřF UK: Lucie Kupková, Markéta Potůčková, Lucie Červená, Jakub Lysák,

Salma Bijou, Adenan Nofrizal, Alex Šrollerů

Zuzana Lhotáková, Eva Neuwirthová, Miroslav Barták, Jana Albrechtová,

Milada Matoušková, Vojtěch Vlach, Miroslav Jonáš

Czech Globe: Lucie Homolová, Petr Lukeš, Vojtěch Bárta

ÚH: Václav Šípek, Lukáš Vlček, Marek Purm

Univerzita Karlova Přírodovědecká fakulta, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, Ústav
pro hydrodynamiku AV ČR (další účastník)

Únor 2025



CHARLES UNIVERSITY
Faculty of Science



Identifikační údaje/základní informace

Program: Prostředí pro život

Název projektu: Hodnocení vlivu změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii a klima v Krkonošském národním parku s využitím dálkového průzkumu Země a hydrologického modelování

Číslo projektu: SS05010124

Období řešení projektu: 03/2022–02/2025

Účastníci projektu:

Univerzita Karlova Přírodovědecká fakulta (hlavní příjemce)

Ústav výzkumu globální změny AV ČR (další účastník)

Ústav pro hydrodynamiku AV ČR (další účastník)

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

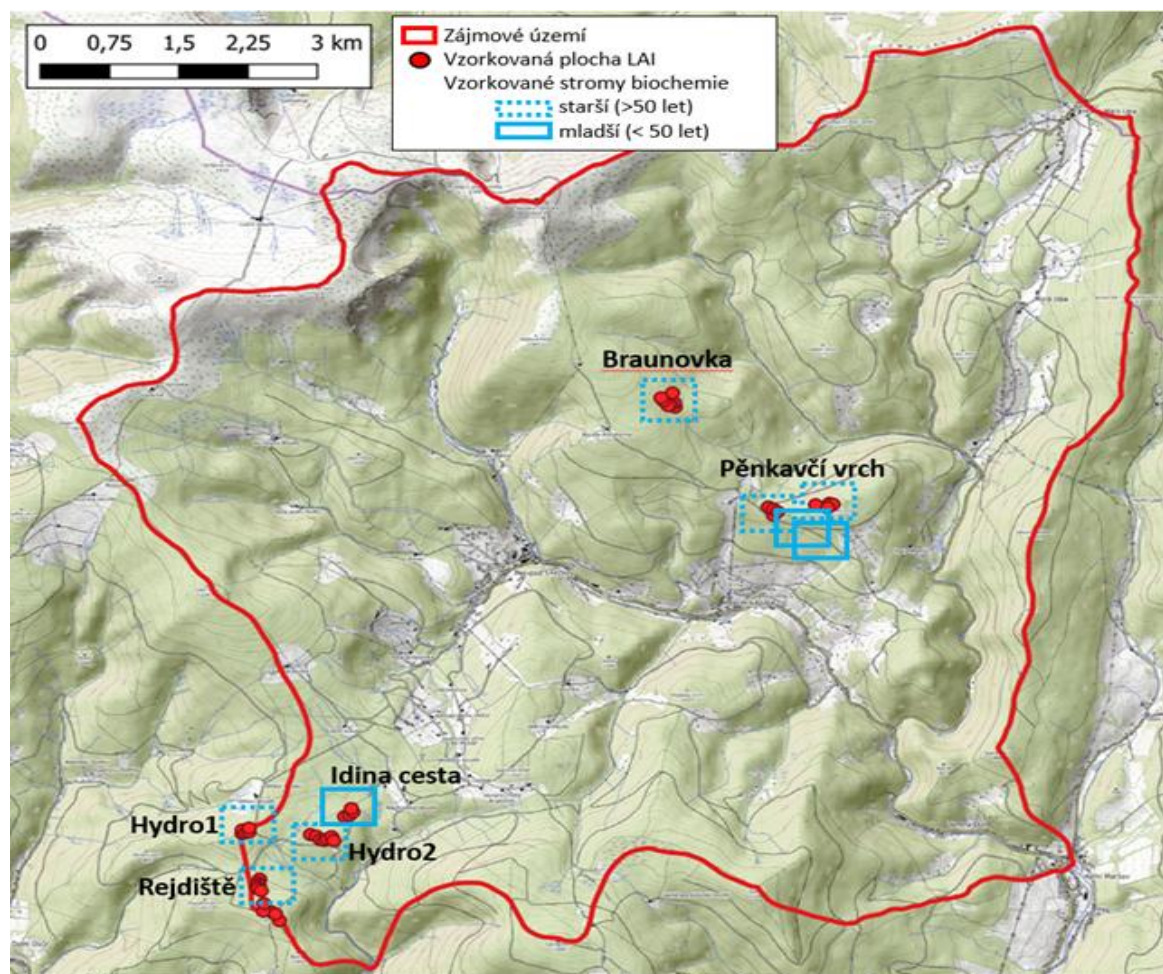
Představení projektu – cíle/činnosti

Projekt je zaměřen na hodnocení vlivu změn krajinného pokryvu (s důrazem na změny lesních porostů) na lokální hydrologii a klima. Změna klimatu jako komplexní proces vyžaduje interdisciplinární přístup, a proto jsou v rámci týmu složeného z odborníků z různých vědních disciplín využity klasické (hydrologie, pedologie) i inovativní přístupy (dálkový průzkum Země, hydrologické modelování, hodnocení fyziologického stavu lesních porostů). Zvláštní pozornost je věnována lesním porostům, které jsou cennými ekosystémy Krkonošského národního parku a hrají významnou roli ve vodním režimu krajiny. Vliv změn krajinného pokryvu na hydrologii/klima je analyzován na dvou prostorových úrovních. V rámci povodí horní Úpy a horní Čisté jako celku je hodnocen dlouhodobý vývoj (od 80. let 20. století) z družicových dat Landsat a Sentinel-1,2. S využitím výstupů této analýzy a časových řad klimatických/hydrologických charakteristik bude pro odhad vlivu změn krajinného pokryvu na vodní režim krajiny využit hydrologický srážko-odtokový model Soil and Water Assessment Tool (SWAT, Arnold et al. 1993). V prostorově nižší úrovni byly v rámci povodí Čisté v subpovodí Rašelinového potoka, kde dochází k odumírání lesa v důsledku kůrovcového napadení, vymezeny trvalé plochy s neporušeným, a naopak rozpadajícím se lesem. Toto území bude v průběhu let 2022–2023 monitorováno 3× za sezónu s využitím multispektrálních dat UAS a budou vyhodnoceny změny lesních porostů (klasifikace, indexy). Vymezení území ukazuje obrázek 1. Pro simulace režimu půdní vody po rozpadu lesa v lokálním měřítku zde bude využito hydropedologického modelu Hydrus 1-D (Šimůnek et al. 2008). Model bude využit ke kvantifikaci režimu půdní vody a k vyčíslení vlivu rozpadu lesa na teplotní režim půdy, evapotranspiraci a dotaci spodních částí půdního profilu vodou.

V území obou povodí (horní Úpa, horní Čistá) bude dále vyhodnocen fyziologický stav lesních porostů s využitím hyperspektrálních leteckých dat, krátkodobých trendů z dat družice Sentinel-2 a spektroskopických metod a bude zpracována mapa potenciálního ohrožení lesních porostů. Ta bude vstupovat do predikce vlivu změn krajinného pokryvu na hydrologii do budoucna (simulace změn v případě odumírání poškozených lesních celků). Výsledky budou vyhodnoceny v závěrečné syntéze.

Hlavní použité vstupy, aktivity/činnosti (pracovní balíčky) a výstupy projektu podrobně ukazuje schéma – viz obrázek P1 v příloze.

Obrázek 1: Vymezení zájmového území a výzkumných ploch



Cíle projektu

1. Analyzovat dlouhodobý vývoj krajinného pokryvu (od 80. let 20. století) s důrazem na změny lesních porostů a aktuální zdravotní stav lesa v povodí horní Úpy a horní Čisté s využitím různých typů dat dálkového průzkumu Země.
2. Analyzovat dlouhodobé časové řady hydrologických a hydrometeorologických dat a popsat vývoj klimatu a hydrologie sledované oblasti od 40. let 20. století.
3. S využitím hydrologického modelování a vstupů vzniklých v rámci cílů 1 a 2 simulovat dlouhodobý vliv změn krajinného pokryvu na lokální klima a hydrologii.
4. Navrhnout metodiku pro monitoring vlivu změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii s využitím dálkového průzkumu Země a hydrologického modelování.
5. Navrhnout Aplikaci pro automatizované zpracování dat DPZ a vyhodnocení hydrologických poměrů.

Řešitelský tým

Na řešení projektu se podílí 5 dílčích týmů ze 3 institucí – Přírodovědecké fakulty UK, Ústavu výzkumu globální změny AV ČR (ÚVGZ/CzechGlobe) a Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR (ÚH). Do projektu jsou zapojeny týmy a řešitelé ze 3 kateder PŘF UK – katedry aplikované geoinformatiky a kartografie (KAGIK), katedry experimentální biologie rostlin (KEBR) a katedry fyzické geografie a geoekologie (KFGG).

Popis řešení projektu v roce 2024

Aktivity a činnosti řešení projektu byly v roce 2024 zaměřeny zejména na tvorbu syntetických výstupů, byla ale ještě pořizována i další data v terénu dle plánu (zejména hydrologická), analyzována, vyhodnocována a interpretována data získaná v předchozích letech. Aktivitou nad plán projektu bylo pořízení další sady leteckých hyperspektrálních dat a dalších podpůrných terénních dat v zájmovém území. Data byla financována z jiného zdroje a jsou primárně určena pro zlepšení přesnosti výsledků hodnocení zdravotního stavu lesů v obou sledovaných povodích v Krkonoších a z hlediska výstupů zejména pro tvorbu výsledné metodiky a specializované mapy s odborným obsahem Nmap – Mapa potenciálně ohrožených lesních porostů (více viz níže). V souvislosti s touto aktivitou a snahou získat co nejvyšší výsledky/výstupy jsme podali žádost o poskytnutí dodatečné lhůty 180 dní k dopracování některých výsledků projektu po jeho skončení a o změnu názvů některých výsledků (více viz kapitola 5).

Výsledky projektu byly prezentovány na třech mezinárodních konferencích a nad rámec původního plánu byly připraveny a obhájeny dvě diplomové práce.

Podrobný popis činností, které probíhaly v roce 2024

Pozemní kampaň/výjezdy

V terénu bylo dokončeno pořízení datových vstupů, které byly využity pro dokončení různých typů analýz. Probíhal ještě sběr hydrologických dat a nad rámec aktivit slíbených v projektu byla realizována výše zmíněná kampaň na pořízení leteckých hyperspektrálních dat a doprovodných dat. V některých případech byly výjezdy hrazeny z jiných zdrojů, protože v rámci podpory TAČR není možné hradit cesty služebními auty. Zaměření terénních výjezdů je shrnuto v tabulce 1, fotografie z terénu jsou k dispozici v galerii na webu projektu (<https://www.lucc4hydro.cz/gallery/>).

Tabulka 1: Terénní výjezdy/práce 2024

Termín	Účel	týmy
4. 4.	Výměna baterií v dataloggerech a zapojení rozpojených kabelů od čidel	ÚH
14. 5.	Hydrologický průzkum v povodí horní Úpy a horní Čisté, hydrometrování, kontrola instalovaných hydrologických zařízení	KFGG
23. 7.	Rekognoskace stavu lesních porostů, vytipování a zaměření	PŘF UK KAGIK a KEBR

	stromů pro odběr vzorků listů v rámci letecké kampaně	
30. 7.	Letecká data Pořízení dat z UAV Doprovodná pozemní kampaň k leteckému snímkování, měření referenčních spekter	CzechGlobe
6.–7. 8.	Pozemní měření, laserové skenování hemisférické fotky	CzechGlobe
26. 9.	Měření základních fyzikálně-chemických parametrů povrchové vody in-situ, odběry vzorků povrchové vody	KFGG
30. 9.	UAV LiDarové snímání dat pro 3 plochy lesa v povodí Rašelinového potoka	PřF UK KAGIK
18. 10.	Stažení dat a výměna baterií v dataloggerech.	ÚH
8. 11.	Hydrometrování, měření základních fyzikálně-chemických parametrů povrchové vody in-situ, odběry vzorků povrchové vody	KFGG
11. 11.	Hydrometrování, měření základních fyzikálně-chemických parametrů povrchové vody in-situ, odběry vzorků povrchové vody	KFGG

Letecká hyperspektrální kampaň

Nad rámec aktivit plánovaných v rámci projektu proběhla v termínu 30. 7. 2024 terénní kampaň za účelem získání leteckých hyperspektrálních dat (senzory CASI, SASI, TASI), která jsou v současnosti nejlepším datovým vstupem pro hodnocení zdravotního stavu lesů. Nová kampaň byla vedena snahou jednak zajistit data s lepším prostorovým rozlišením, než byla data pořízená v roce 2022 (nyní prostorové rozlišení 60 cm/pixel, v roce 2022 rozlišení 1 m/pixel v případě senzoru CASI) a dále jsme chtěli porovnat data z obou let, protože analýza trendů poškození lesa může být vhodným vstupem pro vytvoření plánovaných výsledků projektu, zejména Nmap – Mapa potenciálně ohrožených lesních porostů. Před samotnou kampaní proto proběhla nová rekognoskace stavů lesních porostů v terénu, byly vybrány další výzkumné plochy se zdravým, středně poškozeným a poškozeným lesem a v rámci nich vybrány, zaměřeny a označeny stromy pro odběr listů (důležitý vstup pro analýzu stavu vegetace pomocí biochemických a spektrálních laboratorních analýz). Celkem bylo vymezeno 5 výzkumných ploch, které zahrnovaly též 3 plochy sledované v průběhu celého řešení projektu. Na základě výběru ploch byly také vymezeny oblasti pro pořízení leteckých dat. Celé území zájmu (obě povodí) nebylo možné z letadla naskenovat vzhledem k nižší výšce letu (z důvodu požadovaného většího prostorového rozlišení snímků). Území, pro která byla pořízena data – viz obrázek 2. Data se podařilo pořídit 30. 7. 2024 za zcela jasného počasí. Zároveň bylo v terénu pořízeno i velké množství dalších dat. Jednak bylo 5 výše zmíněných menších zájmových ploch (rozměry cca 200×100 m) nalétnuto pomocí UAV – byla pořízena hyperspektrální data kamerou Headwall Nano-Hyperspec. Dále byly odebrány vzorky listů ze 60 stromů v rámci těchto pěti ploch (postup zpracování pro účely analýzy viz níže) a stromy byly zaměřeny pomocí přesné GPS. Byla též pořízena doprovodná pozemní měření za účelem kalibrace leteckých dat. Pomocí terénního spektrometru ASD FieldSpec 4 byla naměřena spektra vybraných povrchů (kamenná moře, cesty nedaleko Luční boudy) pro kalibraci leteckých hyperspektrálních dat. Vybrané povrchy byly identifikovány pomocí GNSS soustavy, jejich velikost byla volena tak, aby je bylo možné identifikovat na leteckém snímku.

[illegible]

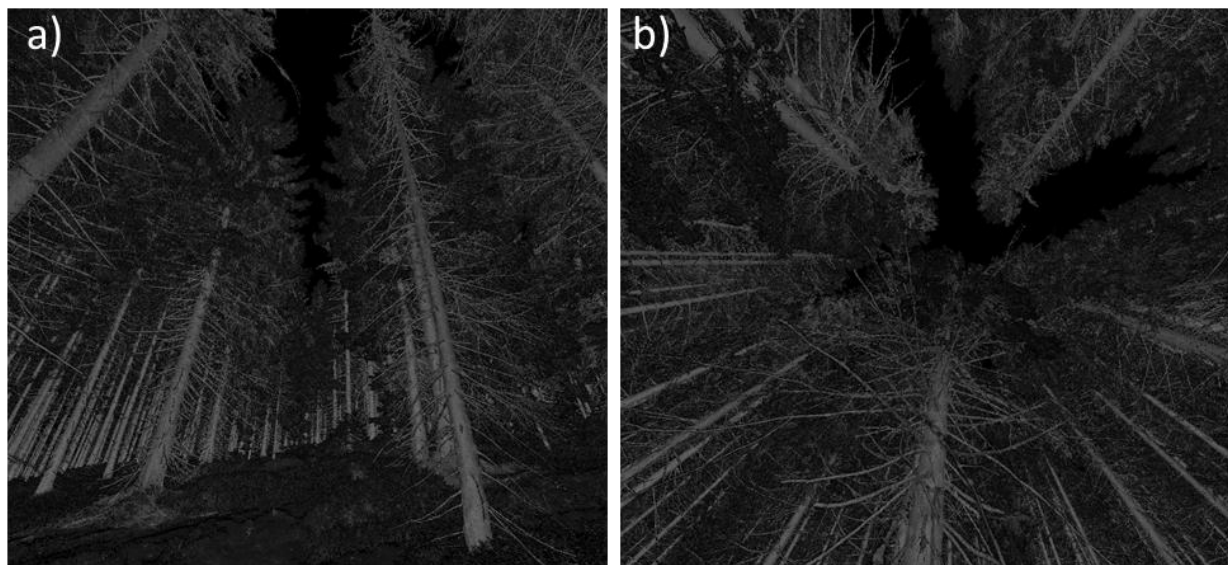
Pozemní laserové skenování

Hemisférické fotografie

UAV LiDAR data

Pro 3 plochy s rozdílnou mírou poškození lesa (zdravý les, středně poškozený a hodně poškozený), kde byla v rámci kampaně pořízena UAV hyperspektrální data, byla dodatečně též pořízena UAV data pomocí LiDarového snímání. Ta budou vstupovat do modelů přenosu záření (zejména DART).

Obrázek 3. Ukázka bodového mračka z pozemního laserového skeneru na lokalitě Rejdiště, pohled z boku (a) a směrem



Výhodou je též, že se pro stejný termín podařilo objednat a skutečně získat data z hyperspektrální družice EnMap (<https://www.enmap.org/>). Ta pokrývají celé území obou povodí a pro hodnocení tak jsou dostupné různé zdroje dat DPZ, které mají různé výhody a nevýhody a poslouží pro posouzení praktické využitelnosti a výběr vhodného operativního postupu monitoringu lesa do budoucna jako jednoho z významných výstupů projektu. Toho by mělo být docíleno i díky tomu, že lhůta pro dosažení výstupů, kde se výsledky této analýzy objeví (V1-metodika Nmet-S, V25 – specializovaná mapa), byla posunuta o 180 dní od termínu po ukončení projektu.

Další aktivity roku 2024 – analýzy dat, tvorba výstupů/výsledků, prezentace výstupů projektu

PŘF UK KEBR

Hlavní úlohou KEBR bylo jednak vytipování vhodných stromů pro oděry vzorků listoví v terénu a dále zpracování odebraných vzorků listoví. Odebrané vzorky byly transportovány do laboratoře KEBR a zde do 24 hodin od odběru proběhlo vzorkování jehlic pro biochemické stanovení fotosyntetických pigmentů, vážení a skenování jehlic (pro stanovení obsahu vody a specifické listové plochy). Byla také měřena reflektance a transmitance všech vzorků listoví pomocí spektrometru ASD FieldSpec 4 a integrační sféry ASD.

Dále proběhlo laboratorní stanovení obsahu chlorofylu a, b a celkových karotenoidů (extrakce v dimethylformamidu a spektrofotometrické stanovení dle Wellburn et al. 1994) pro celkem 180 vzorků (pro každý ročník bylo analyzováno jehličí pro první, druhý a čtvrtý ročník). Výsledky jsou již analyzovány v rámci prací probíhajících na PŘF UK KAGIK a Czech Globe (viz níže).

KEBR se také zapojil do přípravy dílčí metodiky hodnocení zdravotního stavu lesních porostů s využitím letecké obrazové spektroskopie a krátkodobých trendů spektrálních indikátorů (V22).

PŘF UK KAGIK

Jednou z hlavních aktivit byla výše zmíněná kampaň, její zajištění po všech stránkách a dále pořízení hyperpektrálních a LiDAR dat z UAV. Data z kampaně od podzimu 2024 analyzuje tým KAGIK s využitím různých metod, zejména metod přenosu záření. Jsou testovány všechny datové sady jak obrazové (letecká, UAV, EnMap data), tak data laboratorní a další vstupy od ostatních týmů. Cílem je přispět k tvorbě konečných syntetických výstupů (zejména již zmíněných výstupů V-1, V25).

V průběhu roku 2024 dále tým KAGIK analyzoval data pořízená v minulých letech a vytvářel výstupy, které byly využity pro tvorbu konečných výsledků – zejména byl zodpovědný za vytvoření výstupu *Nmap – Vývoj krajinného pokryvu (s důrazem na změny lesních porostů) zájmového území od 80. let 20. století do současnosti*, dále *Nmap – Vývoj lesního pokryvu v území Rašelinového potoka v období 2022–2023 z multispektrálních dat získaných pomocí UAS* a též výstupu *R – Software: Aplikace pro automatizované zpracování dat DPZ a vyhodnocení hydrologických poměrů*. Na tomto výstupu jsme spolupracovali s týmem ÚH.

Tým také připravil a odeslal do časopisu *Ecological Indicators* rozsáhlý publikační výstup zpracovaný na základě dat získaných pro kůrovcový les v povodí Rašelinového potoka. Manuskript je nyní v recenzním řízení (V23).

Z publikačních výstupů jsme dále spolupracovali s ÚH na manuskriptu s názvem „Land Cover Change and Its Effects on Catchment Hydrology: A Quantitative Analysis Using SWAT in Horní Úpa“, který je prakticky připraven k odeslání do odborného časopisu (jedná se o V18). Tým též prezentoval poster na spektroskopické konferenci ve Valencii v dubnu 2024, v němž byla využita metodika vyvinutá v rámci tohoto projektu.

PŘF UK KFGG

Hlavní práce probíhaly na dílčí metodice a dále na odborném článku. Hlavním cílem metodiky je pomocí grafických a statistických metod detekovat změny srážko-odtokového režimu a identifikovat dlouhodobé trendy základních hydroklimatických proměnných: teploty vzduchu, srážek a průtoků. Dále se metodika zaměřuje na analýzu hydrologických extrémů, konkrétně metod pro vyhodnocení hydrologického sucha.

Její součástí jsou základní grafické metody pro analýzu změn S-O režimu, metody pokročilé hydrologické statistiky pro detekci trendů v datových řadách (např. aplikace Mann-Kendallova testu) a dále metodické postupy pro hodnocení hydrologických a klimatických extrémů, např. využití SPEI indexu, překročení prahové hodnoty – Q90, metody kumulativního deficitu odtokové výšky a magnituda hydrologického sucha – kumulativních deficitních objemů.

Pokračovaly terénní práce, především hydrometrování a odběry vzorků povrchové vody pro geochemické analýzy, které byly součástí diplomové práce Václava Kavalíra.

Pokračovaly analytické práce na datových hydrologických a klimatických řadách za účelem publikace hlavních výstupů v odborném článku. Studie analyzuje hydroklimatické extrémy v Krkonoších v období 1964–2023 za použití dlouhodobých časových řad. Odtokové extrémy jsou definovány pomocí kvantilů Q95 (nízké průtoky) a Q5 (vysoké průtoky). Sezónnost a dynamika průtoků je analyzována pomocí pokročilých statistických nástrojů, včetně Mann-Kendallova testu a výpočtů indexu sezonnosti (SI). Analýzy jsou prováděny převážně v softwaru R, přičemž balíček „hydroTSM“ je využíván pro kontrolu datových řad a specializované balíčky jako „lfstat“ pro analýzu změny sezónnosti extrémních průtoků. Průměry za jednotlivé dekády (celkem 6 dekád) poskytují přehled o vývoji trendů a kolísání sezónního výskytu extrémních průtoků. Hlavní výsledky ukazují na významné změny v sezónnosti nízkých i vysokých průtoků. Nízké průtoky (Q95) se častěji objevují v pozdním létě a na podzim, zatímco vysoké

průtoky (Q5) se posouvají dříve k začátku roku vlivem časnějšího tání sněhu. Index sezónnosti prokazuje rostoucí pravidelnosti načasování extrémních průtoků (nízkých i vysokých) během posledních 60 let. Tyto výsledky zdůrazňují dopady lokální změny klimatu a srážko-odtokového režimu na sezónní rozložení hydrologických extrémů.

CzechGlobe

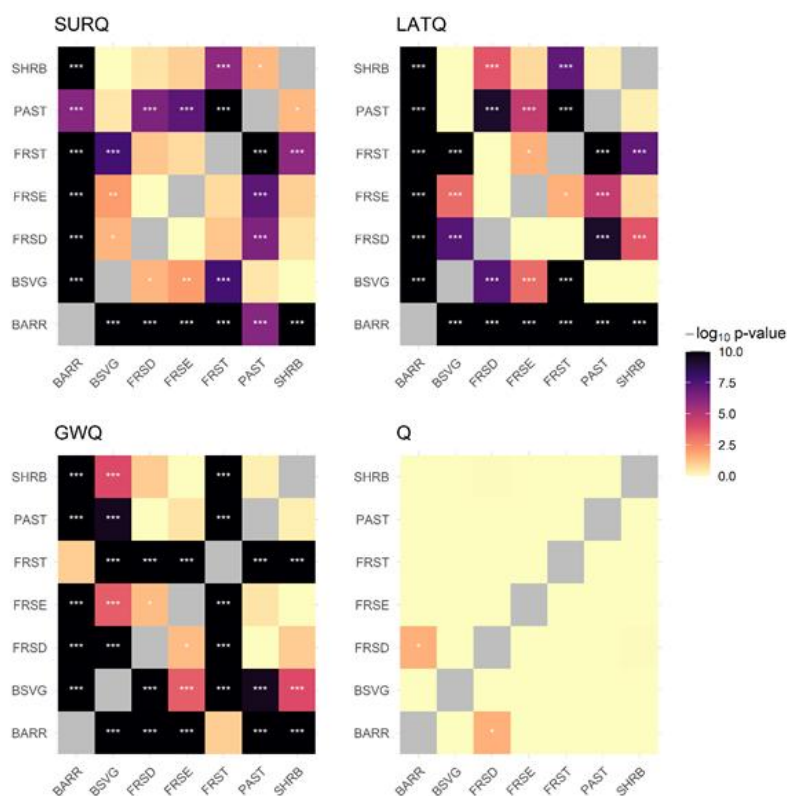
Hlavní práce probíhaly na přípravě dílčí metodiky hodnocení zdravotního stavu lesních porostů s využitím letecké obrazové spektroskopie a krátkodobých trendů spektrálních indikátorů (V22). Krátkodobé trend disturbance indexu ze satelitních dat Sentinel-2 byly zkombinovány z indikátory odvozených z leteckých dat, jedná se o obsah chlorofylu a vody v listoví, které byly kalibrovány na pozemních odběrech, a dále pak vybrané hyperspektrální vegetační indexy senzitivní na obsah pigmentů a vody v listoví. Oba zdroje dat pak byly použity k detekci odumřelých či silně poškozených porostů, potažmo menších skupin stromů a prostorové analýze nejbližšího okolí, jako potenciálně ohrožené oblasti dalšího šíření napadení kůrovcem. Bohužel, analýzy leteckých dat poukázaly na nedostatky při korekcích těchto dat v topograficky členitém území, což do jisté míry ovlivnilo výsledky odhadů biochemických indikátorů z pozemních odběrů. Tým dále pracoval na přípravě publikace, která však bude dokončena v průběhu roku 2025 (V17). Dále byla zpracována data leteckého snímkování a doprovodných pozemních měření z roku 2024.

ÚH

V roce 2024 byla hlavní práce soustředěna na odhad vlivu změny land cover na povodí Horní Úpy pomocí hydrologického modelu SWAT. Na základě analýzy změny land cover ze satelitů Landsat (dodané PŘF UK) byla vyhodnocena hydrologická bilance pro jednotlivé typy krajinného pokryvu a pro čtyři období s odlišným zastoupením lesních porostů a roztroušené vegetace v letech 1991–2021. Uvažované krajinné pokryvy zahrnovali holou půdu bez vegetace (kód modelu SWAT – BARR), holiny s řídkou vegetací (BSVG), přechodná stadia lesa a křovin spolu s kosodřevinou (SHRB), louky (PAST) a jehličnaté (FRSE), listnaté (FRSD) a smíšené (FRST) lesní porosty.

Pozornost byla zaměřena na množství výparu z krajiny a na jednotlivé formy odtoku: přímý odtok (SURQ), laterální podpovrchový odtok (LATQ) a na odtok z podzemní vody (GWQ). V případě celkového odtoku (Q) v uzávěrovém profilu Horní Maršov nebyly detekovány žádné statisticky významné rozdíly s měněním se land coverem. Tato skutečnost byla daná především malými změnami krajinného pokryvu v kontextu celého povodí, které byly v období 1991–2021 detekovány. Rozdíly byly ale zjištěny ve způsobu modelování forem odtoku. Bylo prokázáno, že v lesních porostech pochází více odtoku z podpovrchového laterálního (LATQ) a podzemního odtoku (GWQ) oproti odtoku přímému (SURQ). Výsledky Kruskal-Wallisova testu jsou zobrazeny na obrázku 4.

Obrázek 4: Výsledky Kruskal-Wallisova testu pro všechny zkoumané typy krajinného pokryvu a všechny sezóny 1991–2021. Hvězdičky indikují statisticky významné rozdíly ve středních hodnotách (na 5% hladině významnosti), barva indikuje p-hodnotu.



Vyhodnocené výsledky byly zpracovány formou publikace s názvem „Land Cover Change and Its Effects on Catchment Hydrology: A Quantitative Analysis Using SWAT in Horní Úpa“, která je dokončena a na přelomu ledna/února 2025 a bude odeslána do odborného časopisu (výsledek V18).

Druhá část aktivit byla věnována vyhodnocení vlivu rozpadu lesního porostu kůrovcem na režim půdní vody. Pro tento účel byl aplikován hydropedologický model HYDRUS-1D s cílem popsat změny ve vodní bilanci dvou zájmových ploch při zohlednění odlišných hydraulických vlastností půdního profilu. Navzdory očekávání výsledky měření půdní vlhkosti v kůrovcem napadeném lese a v referenčním zdravém lese v období 7/2022–12/2023 prokázaly, že půdní vlhkost zdravého porostu byla významně vyšší, než tomu bylo u napadené lokality. Příčinou však nebyla změna v transpiračním toku, ale rozdílné hydraulické vlastnosti půdy na jednotlivých lokalitách. Po zohlednění této skutečnosti ve vytvořeném hydropedologickém modelu nebyl výsledný rozdíl mezi lokalitami patrný. Výsledky hydropedologického modelu neprokázaly statisticky významné rozdíly mezi zkoumanými lokalitami ve výparu z půdy, transpiraci stromového patra a odtoku do podloží. Odtok do podloží byl nepatrně vyšší v napadeném lese na úkor snížené transpirace, nicméně výsledky nejsou statisticky průkazné. Tento fakt je pravděpodobně způsoben nedostatečným rozvojem kůrovcové gradace a pomalejším úhynem stromů, než bylo očekáváno. Výsledky měření a simulací hydropedologického modelu byly zpracovány v rámci obhájené diplomové práce s názvem „Vliv rozpadu lesa na vodní a teplotní režim půdy na lokalitě v povodí Rašelinového potoka (NP Krkonoše)“.

Výsledky/výstupy projektu 2024

Závazné výsledky dosažené v roce 2024

SS05010124-V5

R – Software: Aplikace pro automatizované zpracování dat DPZ a vyhodnocení hydrologických poměrů

Stav výsledku: dosažen 12/2024

Software představující prakticky uplatnitelnou implementaci metodiky V1. Aplikace zahrnuje celkem pět modulů, jejichž běh na sebe logicky navazuje. Vývoj softwaru proběhl v jazyce Python 3 s využitím vývojového prostředí PyCharm. Využity byly standardní knihovny, a navíc i knihovna arcpy. Knihovna arcpy se nainstaluje při instalaci softwaru ArcGIS Pro od společnosti ESRI. Jde o v současné době nejrozšířenější komerční GIS software, kterým disponuje nejen pracoviště tvůrců výsledků, ale naprostá většina institucí z akademické sféry i státní správy, která pracuje s prostorovými daty. Uvedená knihovna umožňuje neinteraktivně pracovat s funkcemi ArcGIS Pro. Výsledné dílo má podobu aplikace pro příkazový řádek. Funguje na PC se systémem Windows 10 a 11 s nainstalovaným softwarem ArcGIS Pro.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2024-2/>

SS05010124-V7

Nmap – Vývoj krajinného pokryvu (s důrazem na změny lesních porostů) zájmového území od 80. let 20. století do současnosti

Stav výsledku: dosažen 12/2024

Specializovaná mapa s odborným obsahem ukazuje výsledky klasifikace a analýzy časové řady družicových snímků Landsat v období 1985 až 2022. Mapa obsahuje několik tematicky zaměřených polí. Vedle klasifikace krajinného pokryvu v počátečním a koncovém roce zájmového období a přehledu stabilních ploch je mapa doplněna grafem zobrazujícím vývoj rozlohy jednotlivých klasifikovaných kategorií. Z grafu je patrné snížení celkového podílu lesních kategorií (listnatý, smíšený, jehličnatý, přechodová stadia) v 90. letech a jejich opětovný nárůst na začátku milénia. Dle provedené klasifikace celková plocha lesních kategorií dosáhla svého minima 66,7 km² v roce 1991 a maxima 70,5 km² v roce 2014, což představuje 71,2 %, resp. 78,4 % celkové rozlohy sledovaných povodí. Součástí mapy je detail detekovaného úbytku lesních ploch v katastrálním území Horní Malá Úpa na základě porovnání klasifikace krajinného pokryvu z dat Landsat v roce 2006 a 2010. Pro hodnocení celkového stavu lesních porostů, jejich degradaci či naopak obnovu byl spočítán a graficky prostorově vyjádřen index disturbance a směrnice regresní přímky jeho hodnot ve sledovaném období. Mapa je doplněna konkrétními ukázkami odlesnění a obnovy lesa grafy vývoje indexu disturbance a tzv. integrated forest z-score, z nichž lze určit časování dílčích změn.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2024-2/>

SS05010124-V10

Nmap – Vývoj lesního pokryvu v území Rašelinového potoka v období 2022–2023 z multispektrálních dat získaných pomocí UAS

Stav výsledku: dosažen 12/2024

Specializovaná mapa s odborným obsahem ukazuje změny v lesních porostech ve velkém měřítku mezi červencem 2022 a červencem 2023 na základě multispektrálních dat z UAV. Mapa zahrnuje dvě výzkumné plochy HYDRO 1 (kůrovcem ohrožená část lesa) a HYDRO 2 (zdravý les) a jejich okolí. Index NDVI ukazuje zdraví jednotlivých stromů. Stíny a nelesní plochy jsou odmaskovány, ale plochy, které byly vykáceny v průběhu sledovaného roku, jsou naopak zvýrazněny. Dále jsou uvedeny výsledky týkající se indexu listové plochy (LAI) a jeho vývoje na plochách HYDRO 1 a HYDRO 2 v průběhu sezón 2022 a 2023. Ze specializované mapy je vidět postupné zhoršení stavu lesa ve sledované oblasti mezi roky 2022 a 2023, a to především v její západní části. Zde byla část stromů vykácena i v rámci výzkumné plochy HYDRO 1 z důvodu napadení stromů kůrovcem. Zároveň je z mapy vidět nová oblast suchých stromů severozápadně od HYDRO 1. I přes očekávání, že plocha HYDRO 2 by měla zůstat zdravá, můžeme vidět, že v jejím okolí došlo též k napadení a vykácení stromů do července 2023.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2024-2/>

SS05010124-V22

O – Dílčí metodika hodnocení zdravotního stavu lesních porostů s využitím letecké obrazové spektroskopie a krátkodobých trendů spektrálních indikátorů

Stav výsledku: dosažen 12/2024

Metodika popisuje využití leteckých hyperspektrálních dat k odhadu biochemických indikátorů (jako obsah chlorofylu a vody v listoví) a využití hyperspektrálních vegetačních indexů k analýze poškození lesních porostů. Dále pak používá družicová data Sentinel-2 k výpočtu tzv. disturbance indexu (DI) a k odvození krátkodobých (několik let) trendů DI k detekci ohnisek poškozených porostů. Právě syntézou přístupů založených na satelitních i leteckých datech identifikujeme ohniska stávajícího poškození lesa (identifikace stojících mrtvých či odumírajících stromů) a následně stanovujeme oblasti pro možné další šíření poškození na základě obalových zón.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2024-2/>

SS05010124-V28

O – Dílčí metodika hodnocení změn srážko-odtokového režimu, trendů vybraných hydroklimatických proměnných a hydrologických extrémů

Stav výsledku: dosažen 12/2024

Dílčí metodika specifikuje vybrané metody pro hodnocení změn srážko-odtokového režimu, trendů hydroklimatických proměnných a hydrologických extrémů. Hlavním cílem metodiky je odhalit změny srážko-odtokového režimu a identifikovat dlouhodobé trendy základních hydroklimatických proměnných: teploty vzduchu, srážek a průtoků. Její součástí jsou základní grafické metody pro analýzu změn S-O režimu, metody pokročilé hydrologické statistiky pro detekci trendů v datových řadách (Mann-Kendallův test) a dále metodické postupy pro hodnocení hydrologických a klimatických extrémů, např. využití SPEI indexu, překročení prahové hodnoty – Q90, metody kumulativního deficitu odtokové výšky a magnituda hydrologického sucha – kumulativních deficitních objemů. Pracuje s volně dostupnými daty monitorovanými ČHMÚ.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2024-2/>

SS05010124-V11

Jimp – Potenciál volně dostupných družicových dat DPZ pro hodnocení změn krajinného pokryvu v Krkonoších

Stav výsledku: dosažen 12/2024

Výsledek V11 byl na základě schválené žádosti v rámci změnového řízení nahrazen výsledkem V34.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: https://www.lucc4hydro.cz/wp-content/uploads/2024/01/V34_DPDV_isprs-annals-X-1-W1-2023-1033-2023.pdf

Závazné výsledky roku 2024 rozpracované

SS05010124-V17

Jimp – Vliv změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii a klima v Krkonošském národním parku s využitím dálkového průzkumu Země a hydrologického modelování

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025 a o změnu názvu. Nový název: Integration of remote sensing data for forest risk assessment and disturbance monitoring in the Krkonoše National Park

Zatím není jisté, zda tento výsledek bude možné zpracovat. Z důvodu výzkumné nejistoty je možné, že původní plán, který vznikl na začátku projektu, bude muset být přehodnocen a tento výsledek nebude dosažen. Zvažujeme podání žádosti o zrušení tohoto výsledku.

SS05010124-V18

Jimp – Změny režimu půdní vody na lokalitách zasažených rozpadem lesa

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025 a o změnu názvu. Nový název: Land Cover Change and Its Effects on Catchment Hydrology: A Quantitative Analysis Using SWAT in Horní Úpa

Publikace je zaměřena na vyhodnocení změny krajinného pokryvu v povodí Horní Úpy v období 1991–2021 a na vliv této změny na hydrologický režim povodí. Publikace je téměř dokončena a je připravena na odeslání do odborného časopisu na přelomu ledna/února 2025.

SS05010124-V23

Jimp – Stanovení potenciálně ohrožených lesních porostů pomocí metod DPZ a pozemního šetření

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025 a o změnu názvu. Nový název: Assessing Early Bark Beetle Infestation in Norway Spruce Using Multitemporal Hyperspectral Uav Imagery: Is Detection During the Green Attack Stage Always Timely?

Manuskript byl odeslán do časopisu *Ecological Indicators*, nyní probíhá recenzní řízení.

SS05010124-V25

Nmap – Mapa potenciálně ohrožených lesních porostů

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025

V roce 2024 byla nově nad plán projektu pořízena další data pro zpřesnění výsledků určení ohrožených lesních porostů. Data byla hrazena z jiných zdrojů. Jsme vedeni snahou vytvořit skutečně kvalitní mapu a nová data jsou už ve fázi analýzy. Analýza ale nebude ukončena v době trvání projektu, vytvoření mapy se proto opozdí.

SS05010124-V26

Jimp – Trendy vybraných hydroklimatických proměnných a analýza hydrologických extrémů v modelových horských povodích

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025 a o změnu názvu. Nový název: Shifting seasonality of runoff extremes in headwaters of the Krkonoše National Park

Manuskript byl odeslán do odborného časopisu a nyní je v recenzním řízení.

Další výsledky dosažené v roce 2024 (nad rámec schválených výsledků projektu)

SS05010124-V37

O – konferenční poster: Homolová L, Lukeš P, Lhotáková Z, Neuwirthová E, Švik M, Janoutová R, Bárta V, Hanuš J, Albrechtová J. (2024): Integrating In Situ Forest Traits and Airborne Hyperspectral Data to Support the Development of High Level Spaceborne Imaging Spectroscopy Products. 3rd Workshop on International Cooperation in Spaceborne Imaging Spectroscopy, 13.–15. 11. 2024, ESA – ESTEC, Noordwijk, Nizozemí

Poster prezentoval propojení pozemních měření a hyperspektrálních dat pro různé typy lesních ekosystémů. V příspěvku byla prezentována data z projektu.

SS05010124-V38

O – konferenční příspěvek: Šípek, V., Vlček, L., Falátková, K., Hnilica, J., Tesař, M. Modelling of Soil Water Regime in Forested Areas: Seasonally Variable Soil Hydraulic Properties. European Geosciences Union. 14.–19. 4. 2024, Vídeň, Rakousko.

Příspěvek ve formě prezentace představil úskalí a nové možnosti v modelování režimu půdní vody v lesních ekosystémech. V příspěvku byla prezentována data z projektu.

SS05010124-V39

O – konferenční poster: Nofrizal, A.Y. et al. (2024): Dealing with variability in vegetation functional trait retrievals: case study of floodplain forests in Lanžhot, Czech Republic. 13th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy. 16.–18.4.2024, Valencie, Španělsko.

Poster využíval metody vyvinuté v rámci tohoto projektu a aplikoval je na další zájmové území. Hodnotil zdravotní stav lesních porostů.

SS05010124-V40

O – Diplomová práce: Vesecká, M. (2024): Vliv rozpadu lesa na vodní a teplotní režim půdy na lokalitě v povodí Rašelinového potoka (NP Krkonoše). Školitel V. Šípek.

Diplomová práce je výstupem z WP4 Simulace vlivu změn krajinného pokryvu na vývoj hydrologických charakteristik v povodí Rašelinového potoka s využitím modelu HYDRUS-1D.

SS05010124-V41

O – Diplomová práce: Kavalír, V. (2024): Hydrologické extrémy a změny kvality vody na horním toku řeky Úpy. Diplomová práce PŘF UK, Praha, 145 s. (Školitelka: M. Matoušková.)

Diplomová práce se zabývá změnou S-O režimu na horním toku řeky Úpy a chováním parametrů kvality vody při zvolených hydrologických událostech.

4. Popis řešení projektu v roce 2025

Aktivity a činnosti řešení projektu byly v roce 2025 zaměřeny zejména na tvorbu syntetických výstupů.

PŘF UK

Tým PŘF UK spolupracoval na dokončení a odeslání 4 článků Jimp – jejich stav viz kapitola Výsledky V17, V18, V23 a V26. Hydrologický tým (pod vedením M. Matouškové) byl zodpovědný za článek Shifting seasonality of runoff extremes in headwaters of the Krkonoše National Park (V26), který byl odeslán do recenzního řízení. Ggeoinformatický tým zejména za článek Assessing Early Bark Beetle Infestation in Norway Spruce Using Multitemporal Hyperspectral Uav Imagery: Is Detection During the Green Stage Always Timely? (V 23). Pro tento článek byly v rámci recenzního řízení zpracovány korektury. Na dalších dvou článcích jsme spolupracovali. Dále jsme pracovali na vytvoření souhrnné metodiky z dílčích metodik, které vznikaly v průběhu řešení projektu (V1), na specializované mapě potenciálně ohrožených porostů (V25) a na výsledné Odborné výzkumné zprávě a Souhrnné výzkumné zprávě (V4).

Aktivity se týkaly dokončení výsledků projektu. Zejména šlo o zakomponování dílčí metodiky hodnocení zdravotního stavu lesních porostů pomocí metod dálkového průzkumu do výsledné metodiky monitoringu vlivu změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii (V1). Dále jsme pracovali na přípravě specializované mapy týkající se potencionálně ohrožených porostů (V25) a na přípravě publikace integrující různé přístupy dálkového průzkumu Země pro hodnocení rizik a monitoringu poškození lesních porostů v KRNP (V17).

ÚH

V roce 2025 došlo k dokončení syntetického článku, který se týká vlivu změny krajinného pokryvu na lokální hydrologii v povodí horní Úpy pomocí hydrologického modelu SWAT (V18). Článek je prakticky dokončen a bude odeslán začátkem dubna 2025 do recenzního řízení do impaktovaného časopisu.

Výsledky/výstupy projektu 2025

Závazné výsledky dosažené v roce 2025 do ukončení projektu (28.2.2025)

SS05010124-V4

Vsouhrn – Souhrnná zpráva o výsledcích řešení projektu v letech 2024 a 2025

Stav výsledku: dosažen 02/2025

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2025-2/>

Závazné výsledky rozpracované – povoleno dopracování výsledků v rámci dodatečné lhůty 180 dní

SS05010124-V1

NmetS – Metodika pro monitoring vlivu změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii s využitím dálkového průzkumu Země a hydrologického modelování

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025

Metodika je zpracována a byla odeslána dvěma oponentům, kteří byli požádáni o vypracování posudků. Následně bude předána ke schválení na MŽP.

SS05010124-V17

Jimp – Vliv změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii a klima v Krkonošském národním parku s využitím dálkového průzkumu Země a hydrologického modelování

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025 a o změnu názvu. Nový název: Integration of remote sensing data for forest risk assessment and disturbance monitoring in the Krkonoše National Park

Manuskript je v přípravě, momentálně krátce před dokončením a odesláním do odborného časopisu k recenznímu řízení.

SS05010124-V18

Jimp – Změny režimu půdní vody na lokalitách zasažených rozpadem lesa

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025 a o změnu názvu. Nový název: Land Cover Change and Its Effects on Catchment Hydrology: A Quantitative Analysis Using SWAT in Horní Úpa

Článek je prakticky byl dokončen a bude začátkem dubna odeslán do impaktovaného časopisu Environmental management.

SS05010124-V23

Jimp – Stanovení potenciálně ohrožených lesních porostů pomocí metod DPZ a pozemního šetření

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025 a o změnu názvu. Nový název: Assessing Early Bark Beetle Infestation in Norway Spruce Using Multitemporal Hyperspectral Uav Imagery: Is Detection During the Green Stage Always Timely?

Manuskript byl odeslán do časopisu *Ecological Indicators*, v rámci recenzního řízení byly určeny major revisions a revize jsou nyní zapracovávány. Upravený manuskript bude odeslán do 5. dubna 2025.

SS05010124-V25

Nmap – Mapa potenciálně ohrožených lesních porostů

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025

Mapa potenciálně ohrožených lesních porostů v rámci sledovaných lokalit KRNAP integruje přístupy leteckého snímkování s krátkodobými trendy poškození lesa odvozených z družicových dat. Mapa je ve fázi přípravy a bude odevzdána dle schváleného prodloužení doby uplatnění výsledků do 31.8.2025. V roce 2024 byla nově nad plán projektu pořízena další data pro zpřesnění výsledků určení ohrožených lesních porostů. Data byla hrazena z jiných zdrojů. Tato data byla na počátku roku 2025 zpracována a slouží jako podklady pro potvrzení výsledků šíření disturbancí a k aktualizaci detekce potenciálně ohrožených porostů.

SS05010124-V26

Jimp – Trendy vybraných hydroklimatických proměnných a analýza hydrologických extrémů v modelových horských povodích

Stav výsledku: rozpracován – byla schválena žádost o posunutí doby uplatnění výsledku do 31. 8. 2025 a o změnu názvu. Nový název: Shifting seasonality of runoff extremes in headwaters of the Krkonoše National Park

Manuskript byl odeslán do odborného časopisu *Journal of Environmental & Earth Sciences* a nyní je v recenzním řízení.

Naplňování cílů programu Prostředí pro život

Cílem projektu je přispět k poznání vlivu krajinného pokryvu (s důrazem na lesní porosty) a jeho změn na lokální hydrologii v území Krkonošského národního parku (konkrétně v povodích horní Úpy a horní Čisté) s využitím a propojením přístupů/technologií dálkového průzkumu Země (DPZ), hydrologického monitoringu a hydrologického modelování, a přinést nové poznatky a nástroje pro monitoring, management a ochranu cenných území (KRNAP a dalších).

Projekt naplňuje cíl 1 Programu prostředí pro život „Přispět k adaptaci na změnu klimatu a k zavádění ekonomicky efektivních mitigačních opatření“ a hlavní prioritní výzkumný cíl 1.2 „Význam krajinného pokryvu pro lokální klima a hydrologii“.

Výstupy projektu zpracované a zdokonalené v letech 2024 a 2025– aplikace pro automatizované zpracování dat DPZ, dílčí metodiky, mapové výstupy, odborné články, postery atd. jsou k dispozici Správě KRNAP, která je může začít využívat pro účely efektivního managementu území. Zároveň výstupy a získaná data budou využita při zpracování konečných syntetických výstupů (Nmet-S – V1, Nmap – V25), které umožní pracovníkům Správy KRNAP a správcům dalších území monitorovat změny krajinného pokryvu, analyzovat a simulovat možný vliv změn krajinného pokryvu na vodní režim a mohou být využity i jako podklad pro tvorbu a aktualizaci koncepčních dokumentů.

V roce 2024 a 2025 pokračovalo také naplňování vedlejšího prioritního cíle 3.3 „Rozvoj moderních metod a postupů sledování a vyhodnocování stavu jednak vodních a mokřadních ekosystémů, jednak rostlinných a živočišných druhů (a jejich stanovišť) v souvislosti s naplňováním koncepčních dokumentů přijatých k jejich ochraně“. Data byla pořizována moderními metodami DPZ a analyzována pokročilými moderními nástroji (např. v prostředí Google Earth Engine, prostorové modelování, statistické modely). Vytvořené výstupy a jejich implementace přispívají i k naplnění dalšího vedlejšího prioritního cíle 3.2. ochrana biodiverzity na úrovni společenstev, druhů i genetické variability jedinců – např. mapy zdravotního stavu lesů nebo vytvořené dílčí metodiky jsou využitelné k ochraně lesních společenstev.

Pro každý výsledek byl vytvořen v SISTA implementační plán, který specifikuje jeho využití. Většina výsledků zpracovaných v roce 2024 bude využívána pro další práci organizacemi, které na řešení projektu spolupracují, a velká část výstupů je už nyní využitelná pro implementaci v KRNAP, případně MŽP a AOPK.

Závěr

Projekt byl v roce 2024 řešen v souladu s platnou smlouvou, nastaly pouze drobné změny v úvazcích, byly téměř dočerpány finanční prostředky, nízká nedočerpaná částka bude účelně využita v roce 2025 (do konce února, kdy projekt končí).

Výsledky/výstupy plánované na rok 2024 byly z velké části dosaženy v termínu. Nad rámec plánovaných výsledků proběhly 3 prezentace na konferencích a byly obhájeny dvě diplomové práce. Několik výsledků bude dodáno ve lhůtě do 180 dní po skončení projektu (na základě schválené žádosti). V případě jednoho výsledku (Jimp – V17) uvažujeme o podání žádosti o jeho zrušení. V rámci projektu bylo zpracováno několik dalších článků Jimp a je možné, že získané poznatky nebudou už dostatečné na publikaci dalšího článku s impakt faktorem.

Nad rámec projektu byla pořízena další data, která povedou ke zdokonalení hlavních výstupů projektu (V1, V25). V posledních dvou měsících řešení projektu se zaměříme zejména na vytvoření právě těchto výstupů, tj. *SS05010124-V1 NmetS Metodika pro monitoring vlivu změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii s využitím dálkového průzkumu Země a hydrologického modelování* a *SS05010124-V25 Nmap Mapa potenciálně ohrožených lesních porostů*. Dále na recenzní řízení již odeslaných článků a zpracování Souhrnné výzkumné zprávy.

V roce 2025 byl projekt řešen též v souladu s platnou smlouvou. Nedokončené výsledky (Metodika NmetS, specializovaná mapa s odborným obsahem Nmap, a 4 články Jimp) budou dokončeny a dodány ve lhůtě do 180 dní po skončení projektu (na základě schválené žádosti).

Přílohy

Obrázek P1: Detailní schéma projektu – vstupy, aktivity, výstupy

