



CHARLES UNIVERSITY
Faculty of Science

Přírodovědecká fakulta UK



Ústav výzkumu globální
změny AV ČR



Ústav pro hydrodynamiku
AV ČR

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**

Dokument prokazující dosažení výsledku

Číslo výsledku dle ISTA: **SS05010124-V24**

Název výsledku: **Mapy indikátorů zdravotního stavu lesních porostů odvozených z DPZ**

Druh výstupu/výsledku: **Nmap**

Termín dosažení výsledku: **12/2023**

Autoři výsledku (název organizace): Petr Lukeš, Vojtěch Bárta a Lucie Homolová (Ústav výzkumu globální změny AV ČR), Zuzana Lhotáková, Eva Neuwirthová, Lucie Kupková, Lucie Červená a Jana Albrechtová (Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy)

Cíl/účel vytváření výsledku

Cílem výsledku je analyzovat a popsat současný stav, a vytvořit podklady pro hodnocení budoucího vývoje stavu lesních porostů v zájmovém území povodí Čisté Úpy v národním parku Krkonoše pomocí dat dálkového průzkumu Země. Jedná se o dva typy výsledků: 1) mapa krátkodobých trendů zdravotního stavu lesa za období 2017–2023 odvozená z družicových dat, a 2) mapy biochemických indikátorů zdravotního stavu lesa - obsah fotosynteticky aktivních pigmentů a obsah vody v listoví odvozené z leteckých hyperspektrálních dat.

Mapový výstup "Trendy zdravotního stavu lesů v povodí horní Úpy a horní Čistě 2017–2023" odvozené z družicových dat"

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

Mapový výstup vznikl interpretací časové řady satelitních snímků družic Sentinel-2A a Sentinel-2B v období let 2017 – 2023. Při kombinaci obou družic jsou získávány multispektrální snímky zemského povrchu s prostorovým rozlišením 10 a 20 m v pravidelném kroku 5 dní. Avšak, kvůli optické povaze dat jsou na těchto snímcích časté oblačnosti, což znemožňuje jejich použití pro analýzy stavu a vývoje zemského povrchu. Z tohoto důvodu jsme se rozhodli interpretovat časové řady do podoby ročních bezoblačných kompozitů, zahrnující letní pozorování mezi 1.6. a 30.8., v rámci cloudového zpracování dat v Google Earth Engine. Během tohoto procesu jsme vypočítali medián odrazivosti povrchu nad snímky, k nimž byla aplikována maska oblačnosti. Výsledkem je časová řada ze sedmi snímků, zachycující medián odrazivosti povrchu v zájmové povodí v období vegetačního maxima.

Z těchto snímků jsme následně vypočítali vegetační index „Disturbance Index“ (DI) podle následujícího postupu:

- 1) Výpočet komponent "Brightness" (dále B), "Greeness" (dále G) a "Wetness" (dále W) transformace Tasseled Cap.
- 2) Škálování komponent B, G a W pomocí jejich průměrů a směrodatných odchylek nad územím lesa:

$$B_r = (B - B\mu) / B\sigma$$

$$G_r = (G - G\mu) / G\sigma$$

$$W_r = (W - W\mu) / W\sigma$$

- 3) Výpočet indexu DI: $DI = B_r - (G_r + W_r)$

V dalším kroku jsme provedli výpočet sklonu regresní přímky časové řady indexu DI pro všechny obrazové pixely zájmového povodí pomocí algoritmu Sen's slope.

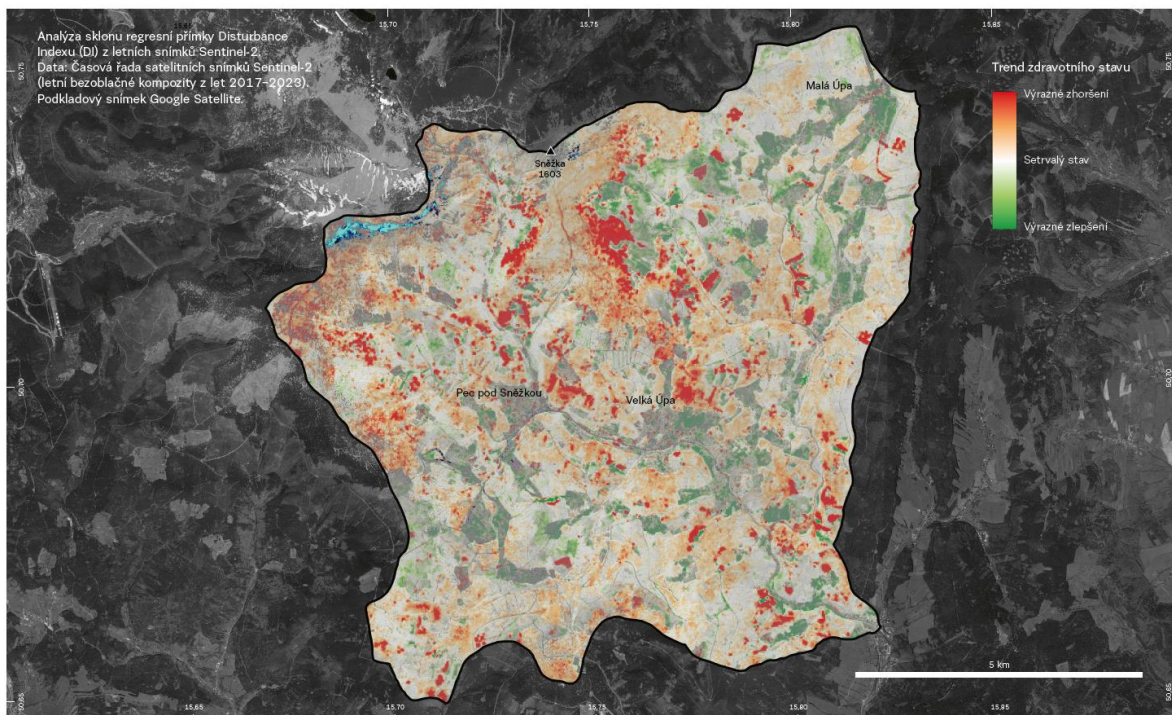
Prezentace výsledku (popis, obrázky, grafy apod.)

Výsledky jsou prezentovány formou mapového výstupu (Obrázek 1), kde je vhodně vizualizován sklon regresní přímky proložené sedmiletou časovou řadou indexu DI. Pozitivní sklon přímky značí růst hodnot indexu DI, což odpovídá zhoršování zdravotního stavu porostu, zatímco negativní sklon poukazuje na oblasti s poklesem indexu DI, tedy oblasti se zlepšujícím se zdravotním stavem lesa.

Trendy zdravotního stavu lesů v povodí horní Úpy a horní Čistě 2017–2023



Specializovaná mapa s odborným obsahem – výstup projektu TAČR 2020/01/21/24. Název projektu: „Hodnotení vlivu změny krajinného pokryvu na lokální hydrologii a klima v Krkonošském národním parku v rámci ekologické prácturny Země a hydrologické modelování“ (web projektu: www.uzohydro.cz). Klíčové řešitelé projektu: doc. RNDr. Lucie Kaplanová, Ph.D., IRE, IAG, Astor, mery. Petr, Lukáš, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. Praha, listopad 2023.



Obrázek 1. Výsledek typu Nmap – Trendy zdravotního stavu lesů v povodí horní Úpy a horní Čistě 2017–2023

Vyhodnocení výsledku (základní zjištění, přínos, případně využití)

Oblasti prudkého růstu indexu DI jsou na mapě „Trendy zdravotního stavu lesů v povodí horní Úpy a horní Čistě 2017–2023“ zobrazeny v sytě červených barvách a typicky ukazují na místa kalamitní kůrovcové těžby, zatímco oblasti sytě zelené zobrazují místa regenerace porostů a nárůstu biomasy. Výsledky mohou sloužit správě NP KRNP pro lepší představu o současném zdravotním stavu porostů v povodí Čistě Úpy a mohou značit i trend jejich vývoje v blízké budoucnosti - např. pro zapojené stojící porosty bez vizuálních symptomů stresu, které ovšem vykazují setrvalý rostoucí trend indexu DI – v mapě znázorněny jako plochy světle červené, či pro studium regenerace holin po kalamitních těžbách.

Doložení výsledku Nmap

Název specializované mapy: Trendy zdravotního stavu lesů v povodí horní Úpy a horní Čistě 2017–2023

Popis novosti mapy: Mapa vznikla analýzou „disturbance indexu“ vypočítaných za časové řady bezoblačných kompozitů družicových multispektrálních dat Sentinel-2.

Rozsah mapy: Mapa pokrývá zájmové území povodí horní Úpy a horní Čistě v národním parku Krkonoše a sleduje krátkodobý trend vývoje zdravotního stavu lesních porostů za období 2017–2023.

Využití mapy a přínosy pro uživatele: Hlavní využití je pro správu KRNAP pro rychlé vyhodnocení hotspotů s prudce stoupající hodnotou disturbance indexu, zobrazeny v sytě červených barvách a typicky ukazují na místa kalamitní kůrovcové těžby. Zatímco oblasti s klesajícím trendem disturbance indexu, sytě zelené zobrazují místa regenerace porostů a nárůstu biomasy. Mírně stoupající trend může poukázat na porosty, které mohou být v následujících letech ohroženy rozpadem. Mapu lze dále klasifikovat do tříd poškození a plošně či procenticky kvantifikovat stav lesních porostů v zájmovém území.

Dostupnost výsledku: Zdrojová data – bezoblačné mediánové kompozity odrazivosti, časová řada indexu DI a hodnoty sklonu regresní přímky algoritmu Sen's slope jsou k dispozici projektovému týmu pro následné analýzy. Specializovaná mapa "Trendy zdravotního stavu lesů v povodí horní Úpy a horní Čisté 2017–2023" ve formátu Geotiff byla předána Správě národního parku Krkonoše. Specializovaná mapa a tento dokument prokazující dosažení výsledku, obojí ve formátu pdf, jsou volně dostupné na webových stránkách projektu <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>.

2) Mapové výstupy "Biochemické indikátory zdravotního stavu lesních porostů horní Úpy a horní Čisté odvozené z leteckých hyperspektrálních dat"

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

Mapy biochemických indikátorů zdravotního stavu lesních porostů vznikly na základě leteckých hyperspektrálních dat, které byly nad zájmovým územím povodí horní Úpy a horní Čisté pořízeny dne 19. 7. 2022, a pozemních odběrů biochemických charakteristik listoví. Pozemní šetření byla použita ke kalibraci lokálního regresního modelu pro dva biochemické indikátory: obsah chlorofylu a + b a obsah vody v listovém aparátu lesních porostů.

Vstupní hyperspektrální snímek pro tuto analýzu vznikl spojením dvou hyperspektrálních datových sad CASI (prostorové rozlišení 2 m, 96 spektrálních pásem v oblasti 381 - 1058 nm) a SASI (prostorové rozlišení 5 m, 100 spektrálních pásem v oblasti 957 - 2442 nm) do jedné datové sady s výsledným prostorovým rozlišením 5 m a 183 spektrálními kanály s průměrnou šířkou spektrálního pásma 7 nm v oblasti viditelného a blízkého infračerveného spektra (381 - 978 nm) a 15 nm v oblasti krátkovlnného infračerveného spektra (987 - 2442 nm).

Pro výpočet obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů (obsah chlorofylu a + b) byly vybrány spektrální pásma ve viditelné a blízké infračervené oblasti, tzv. red-edge oblasti, kde dochází k absorpci světla fotosynteticky aktivními pigmenty. Do analýzy vstupovalo 16 pásem v rozsahu 545 až 723 nm.

Pro výpočet obsahu vody v listoví byly vybrány spektrální pásma ve viditelné, blízké i krátkovlnné infračervené oblasti. Do analýzy vstupovalo 31 pásem v rozsahu 545 až 2157 nm, v daném rozsahu byla vyřazena spektra s malým odstupem signálu a šumu, kde nebylo možné provést atmosférické korekce s náležitou přesností.

Datová sada pozemních odběrů biochemických vlastností listoví byla použita jako další vstupní vrstva. Měření na úrovni jednotlivých ročníků jehlic byla zprůměrována do hodnoty na jeden strom. Terénní měření pozic jednotlivých vzorníkových stromů byla použita k lokalizaci odběrných míst na hyperspektrálním snímku. Prostorové rozlišení 5 m neumožňovalo detekci jednotlivých stromů, proto byl zvolen buffer o poloměru 5 m, ze kterého byla extrahována průměrná spektrální odrazivost v místě odběru. Další podmínkou pro zařazení obrazových pixelů z leteckých hyperspektrálních dat do analýzy byla podrobná maska lesa. Ta byla vytvořena pomocí digitálního modelu povrchu z leteckých lidarových dat, kde byly vyfiltrovány pixely s výškou menší než 4 m nad terénem a na základě spektrální

odezvy byly odstraněny pixely s nízkým signálem způsobeným stíny mezi korunami stromů. Průměrná spektra splňující podmínky a průměrné hodnoty biochemických parametrů za jednotlivé stromy, byly použity pro vytvoření lineárního regresního modelu. Celkově do modelu vstupovalo 54 vzorků.

Natrénovaný regresní model vysvětlující závislost mezi odhadem obsahu chlorofylu a,b z leteckých dat a laboratorní analýzou odebraných vzorků vysvětloval 61.8% rozptylu hodnot ($R^2 = 0.618$). U závislosti mezi odhadem obsahu vody z leteckých dat a obsahem vody naměřených při laboratorní analýze vysvětloval nižší procento rozptylu, a to 58.8 % ($R^2 = 0.588$).

Prezentace výsledku (popis, obrázky, grafy apod.)

Mapy biochemických indikátorů, obsah chlorofylu a+b (Obrázek 2) a obsah vody (Obrázek 3) v lesních porostech v zájmovém území povodí horní Úpy a horní Čisté odrážejí stav ve vegetační sezóně 2022. Pro vizualizaci odhadu obsahu chlorofylu byl zvolen rozsah 0–70 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$, pro lepší vizuální interpretaci bylo měřítko rozděleno do 5 stejně velkých intervalů (viz legenda Obrázku 2), extrémně nízké nebo extrémně naopak vysoké hodnoty dosahující nekolika stovek byly z odhadů vyřazeny. V mnoha případech se jednalo o odhad obsahu chlorofylu na umělých površích v blízkosti vegetace (střechy budov), které se nepodařilo odfiltrovat v předchozích krocích.

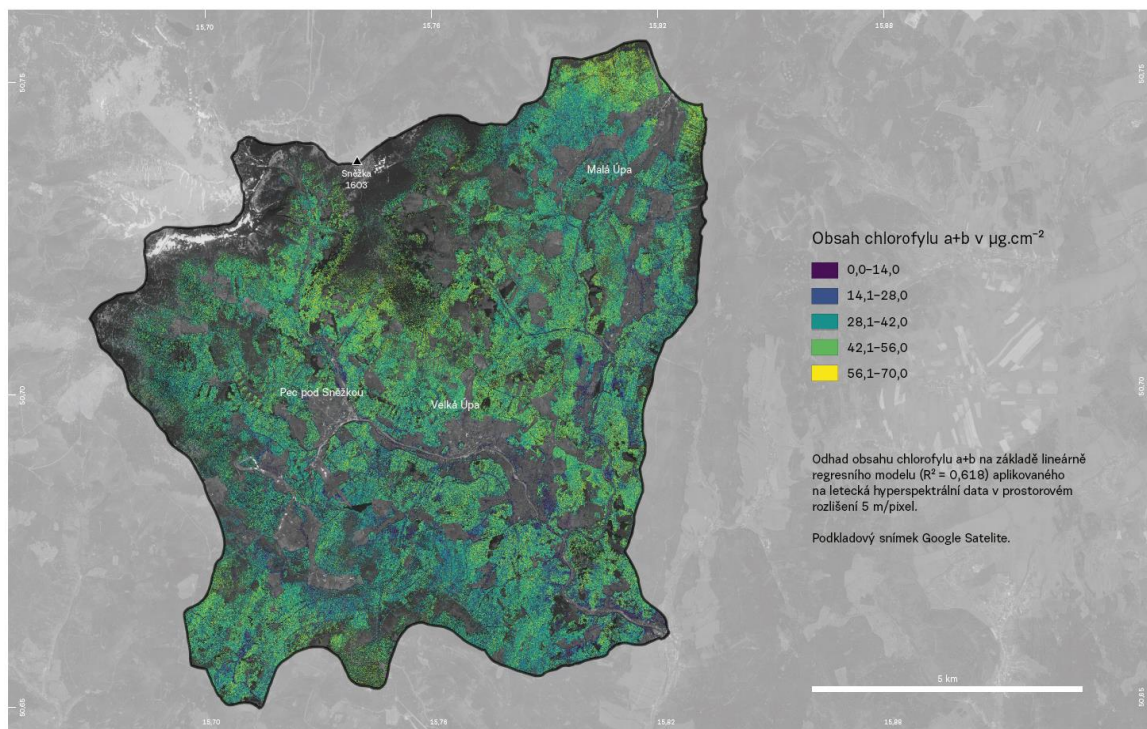
Odhad obsahu vody je zobrazen v rozsahu 0 - 0.04 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$, opět jako v předchozím kroku je rozsah rozdělen na pět rozsahově stejných intervalů. Znovu došlo k odstranění extrémních hodnot z mapy.

Obsah chlorofylu a+b v lesních porostech

v povodí horní Úpy a horní
Čisté odvozený z leteckých
hyperspektrálních dat



Spektrové mapy a odhadovaný obsah – výstup projektu TAČM S1805010214. Název projektu: „Hodnocení vlivu změny krajinného podoby na kvalitu hydrosféry a klimu v přírodních národních parku a v území národního přírodního parku a hydrologického území“ (web projektu: www.luhk.org.cz). Hlavní řešitelka projektu: Lucie Kaplanová (PříF UK), Autoři mapy: Vojtěch Báňa a Lucie Homolová (Ústav výzkumu globální změny MÚM, v.v.i., Zámek v Hradčovicích, Špičákova 25/1, Praha 1, Česká republika) a Jana Abrechtová (PříF UK, Praha, listopad 2023).



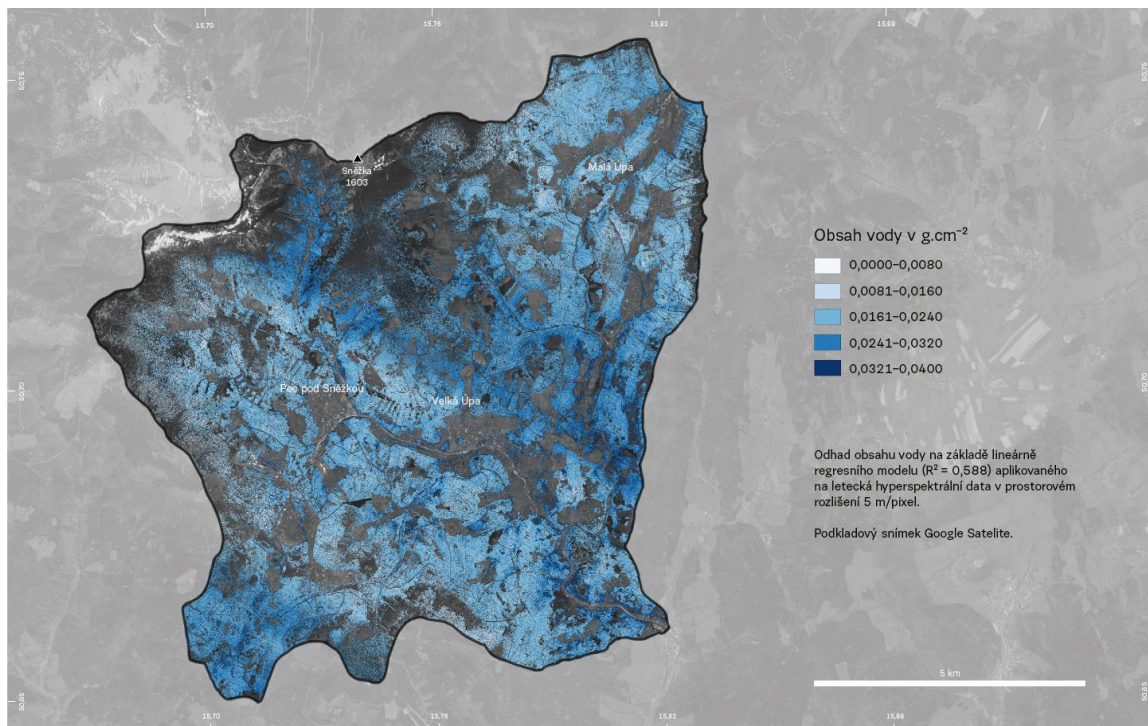
Obrázek 2. Výsledek typu Nmap – Mapa obsahu chlorofylu a+b (Cab v jednotkách $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) v lesních porostech v povodí horní Úpy a horní Čisté odvozená z leteckých hyperspektrálních dat pořízených 19. 7. 2022.

Obsah vody v lesních porostech

v povodí horní Úpy a horní
Čisté odvozený z leteckých
hyperspektrálních dat



Specializovaná mapa v odborném oblačen – výstup projektu TAČR
S805010124. Název projektu „Hodnocení vlivu změny krajinného
příjevu na lesní ekosystém a jeho vliv na vodní bilanci – národní
projekt v rámci úkolů projektu Zrání a hydrologická
modelování“ (web projektu: www.lesohygie.cz). Špičková
projektová skupina: Lukáš Knapík (PIF UK), Aneta Králová, Vladimír Štárek
a Lucie Hornáková (Ústav výzkumu globální změny ALI, v.v.i.),
Zuzana Lhotáková, Štěpán Neuvirthová, Lucie Knapíková, Lucie Čermáková
a Jana Abrechtová (PIF UK), Praha, listopad 2023.



Obrázek 3. Výsledek typu Nmap – Mapa obsahu vody (C_w v jednotkách $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) v lesních porostech v povodí horní Úpy a horní Čisté odvozená z leteckých hyperspektrálních dat pořízených 19. 7. 2022.

Vyhodnocení výsledku (základní zjištění, přínos, případně využití)

Oba mapové výstupy (Obrázek 2 a Obrázek 3) mohou sloužit jako podkladový materiál pro hodnocení zdravotního stavu především jehličnatých porostů. Kde nízký odhad obsahu chlorofylu a nízký obsah vody indikuje zhoršenou vitalitu porostů. Vytvořené výstupy je výhodné posuzovat v kombinaci s ostatními výstupy (jako např. Trendem zdravotního stavu, indexem SPEI) pro získání komplexnější informace o stavu porostů na lokalitě. Velkou předností map je vyšší prostorové rozlišení (5 m/pixel), které umožňuje zohlednit místní podmínky skupinek stromů.

Doložení výsledku Nmap

Výsledek zahrnuje dvě specializované mapy, které využily metodiku založenou na stejném principu aplikovanou pro tvorbu dvou rozdílných indikátorů. Každá mapa má tedy svůj název (na základě daného indikátoru), ale popis novosti, rozsah mapy, využití a přínosy pro uživatele jsou pro obě mapy shodné.

Názvy specializovaných map:

- 1) Obsah chlorofylu a+b v lesních porostech v povodí horní Úpy a horní Čisté odvozený z leteckých hyperspektrálních dat
- 2) Obsah vody v lesních porostech v povodí horní Úpy a horní Čisté odvozený z leteckých hyperspektrálních dat

Popis novosti mapy: Mapy byly odvozeny z leteckých hyperspektrálních snímků zájmového území povodí Čisté Úpy pořízených v létě 2022 a pozemních šetření, která byla použita ke kalibraci lokálních regresních modelů. Jedná se o dva biochemické indikátory zdravotního stavu, obsah fotosynteticky aktivních pigmentů – chlorofylu a + b ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) a obsahu vody ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) v listovém aparátu lesních porostů.

Rozsah mapy: Mapy pokrývají zájmové území povodí horní Úpa a horní Čistá v národním parku Krkonoše a odráží aktuální stav biochemických indikátorů, obsahu chlorofylu a+b a obsahu vody v listovém aparátu lesních porostů ve vegetační sezóně 2022.

Využití mapy a přínosy pro uživatele: Hlavní využití je pro správu KRNAP pro rychlé vyhodnocení hotspotů s prudce stoupající hodnotou disturbance indexu, zobrazeny v sytě červených barvách a typicky ukazují na místa kalamitní kůrovcové těžby. Zatímco oblasti s klesajícím trendem disturbance indexu, sytě zelené zobrazují místa regenerace porostů a nárůstu biomasy. Mírně stoupající trend může poukázat na porosty, které mohou být v následujících letech ohroženy rozpadem. Mapu lze dále klasifikovat do tříd poškození a plošně či procenticky kvantifikovat stav lesních porostů v zájmovém území.

Dostupnost výsledku: Specializované mapy biochemických indikátorů zdravotního stavu lesních porostů v zájmovém povodí Čisté Úpy odvozené z hyperspektrálních dat ve formátu Geotiff jsou sdíleny s projektovým týmem a se Správou národního parku Krkonoše. Specializované mapy a tento dokument prokazující dosažení výsledku, obojí ve formátu pdf, jsou volně dostupné na webových stránkách projektu <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>.