



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 roce 2023

Autoři zprávy a výstupů v roce 2023

Lucie Kupková, Markéta Potůčková, Lucie Červená, Jakub Lysák,

Salma Bijou, Adenan Nofrizal, Alex Šrollerů

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

Lucie Homolová, Petr Lukeš, Vojtěch Bárta

Milada Matoušková, Vojtěch Vlach

Václav Šípek, Lukáš Vlček, Marek Purm

Univerzita Karlova Přírodovědecká fakulta, Ústav výzkumu globální změny AV ČR,
Ústav pro hydrodynamiku AV ČR

leden 2024



CHARLES UNIVERSITY
Faculty of Science



1. 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.

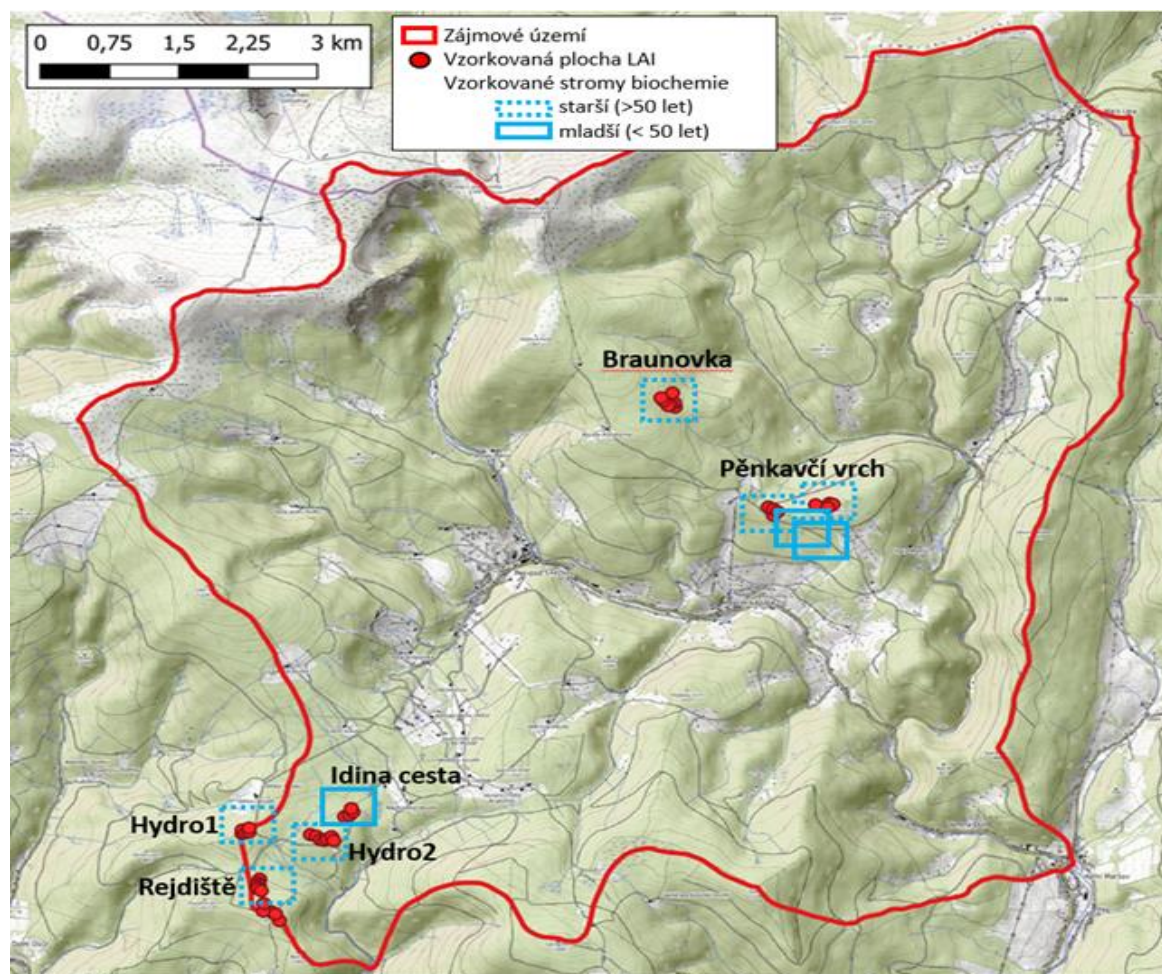
2. Představení projektu – cíle/činnosti

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 3x 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.

3. Popis řešení projektu v roce 2023

Aktivity a činnosti řešení projektu byly v roce 2023 zaměřeny zejména na další pořizování datových zdrojů, pokročily ale už analýzy a interpretace dat získaných v roce 2022 a započalo testování hydrologických modelů. Na základě výsledků byly vytvořeny specializované mapy, datové sady a vrstvy, dílčí metodika. Byly dosaženy všechny výsledky původně plánované na rok 2023 kromě publikace s impakt faktorem, na níž nadále pracujeme. Výsledky byly prezentovány na dvou mezinárodních konferencích a nad rámec původního plánu vznikl konferenční příspěvek, který byl publikován v konferenčním sborníku indexovaném na WOS a SCOPUS a poster.

Přehled činností v roce 2023

V roce 2023 jsme pracovali zejména na těchto hlavních **plánovaných** činnostech/aktivitách (v závorce jsou uvedeny instituce, které se na nich podílely):

- 1) Terénní výjezdy:
 - a) 3 x snímání UAV multispektrálních dat v povodí Rašelinového potoka pro plochy Hydro1 a Hydro2 (PřF UK)
 - b) Hydrologický průzkum v povodí horní Úpy, hydrometrování pomocí přístroje Flow Tracker, měření základních fyzikálně-chemických parametrů vody a odběry vzorků (PřF UK)
 - c) Odběry listoví v povodí Rašelinového potoka pro kontrolu stavu vzorníkových stromů na ploše Hydro1 (PřF UK)
 - d) 2 x pokračování terénní části hydrologického průzkumu, kontrola čidel pro měření půdní vlhkosti a terénní měření indexu listové plochy (Ústav pro hydrodynamiku)
 - e) Kontrolní zaměření souřadnic odebíraných stromů a kontrola stavu vzorníkových stromů z roku 2022 (ÚVGZ)
- 2) Pořízení UAV multispektrálních dat popisujících vývoj lesního pokryvu území Rašelinového potoka (3 termíny) pro dvě vybrané plochy (jedna plocha reprezentující zdravý les a druhá les zasažený kůrovcovou kalamitou – plochy Hydro-2 a Hydro-1), analýza dat (výpočty LAI a NDVI), export výsledných vrstev (PřF UK)
- 3) Dokončení laboratorní analýzy vzorků listoví z odebraných větví z roku 2022 a analýza listoví odebraného na ploše Hydro1 v roce 2023 v laboratoři PřF UK. Vyhodnocení analýz biochemických vlastností listoví, jejich agregace na úrovni jednotlivých stromů a vyhodnocení statistických rozdílů mezi lokalitami (PřF UK, ÚVGZ)
- 4) Analýza a interpretace časové řady volně dostupných (bezoblačných) družicových dat Landsat od roku 1984 do současnosti, tvorba dílčí metodiky a specializované mapy z výsledků analýzy, práce na přípravě publikace (PřF UK, ÚVGZ)
- 5) Analýza a interpretace leteckých dat dálkového průzkumu pořízených v roce 2022 ve vztahu ke zdravotnímu stavu lesních porostů a tvorba specializovaných map z výsledků analýzy (s využitím podkladů z laboratorní analýzy vzorků listoví – viz bod 3) (ÚVGZ, PřF UK)
- 6) Dokončení databáze hydrologických a meteorologických proměnných, analýza datových souborů a klimatická a hydrologická charakteristika zájmového území a vytvoření specializované mapy z těchto dat (PřF UK)

- 7) Pokračování měření režimu půdní vlhkosti ve stejném schématu, které bylo založeno na jaře 2022 v kůrovcem napadeném a zdravém lese – vstupní data pro modelování na prostorové úrovni Rašelinového potoka s využitím modelu Hydrus 1-D, které bude probíhat v roce 2024. (*Ústav pro hydrodynamiku*)
- 8) Sestavení hydrologického modelu SWAT pro vyšší prostorovou úroveň povodí horní Úpy s uzávěrovým profilem Horní Maršov a povodí Čisté s uzávěrovým profilem Černý Důl. Model SWAT bude v roce 2024 použit pro simulaci vlivu změny land cover na hydrologické poměry v území. Navazující tvorba mapy Území náchylná k dlouhodobým deficitům půdní vláhy (*Ústav pro hydrodynamiku*)
- 9) Aktualizace webu projektu a publikace výsledků na webu (*aktualizace a správa webu PŘF UK, příspěvky celý tým*)
- 10) Prezentace výsledků projektu na konferencích (*PŘF UK, Ústav pro hydrodynamiku*)

Nad rámec aktivit plánovaných v návrhu projektu (závazných dle smlouvy projektu) byly realizovány tyto činnosti:

- 1) Měření indexu listové plochy (LAI) pomocí setu přístrojů Li-Cor 2000 Plant Analyzer (červenec a říjen) a započítání analýzy výsledků (*Ústav pro hydrodynamiku*)
- 2) Prezentace výsledků projektu na mezinárodní konferenci ISPRS Geospatial Week 2023, 2.–7. září 2023, Káhira, Egypt. Prezentace byla oceněna jako nejlepší příspěvek sekce “UAV-based mapping Workshop” (*PŘF UK*)
- 3) Publikace článku v konferenčním sborníku indexovaném na WOS a SCOPUS: Bijou, S., Kupková, L., Potůčková, M., Červená, L., and Lysák, J. (2023): Evaluation of the bark beetle green attack detectability in spruce forest from multitemporal multispectral UAV imagery. ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., X-1/W1-2023, 1033–1040, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-1033-2023> (*PŘF UK*)
- 4) Prezentace výsledků formou posteru na konferenci EGU General Assembly 2023, 23.–28.4.2023, Vídeň (*Ústav pro hydrodynamiku*)

Podrobný popis činností, které probíhaly v roce 2023 a zásadní výsledky hlavních činností

Terénní výjezdy 2023 (všechny instituce a týmy)

V terénu bylo dokončeno pořízení datových vstupů, které budou vstupovat do různých typů analýz. Celkem proběhlo 8 terénních výjezdů, na nichž se podílely všechny organizace (viz Tabulka 1).

Zaměření výjezdů je shrnuto též v tabulce 1 (fotogalerie ke kampaním je dostupná na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/gallery/>).

Tabulka 1: Terénní výjezdy 2023.

Termín	Účel	týmy
11.7.	pořízení UAV dat v povodí Rašelinového potoka	PŘF UK KAGIK
23.7.2023	kontrola čidel a měření LAI	ÚH

15.8.	pořízení UAV dat v povodí Rašelinového potoka	PřF UK KAGIK
14.-15. 8. 2023	odběr vzorníkových stromů	PřF UK KEBR + KAGIK
20.9.2023	pořízení UAV dat v povodí Rašelinového potoka	PřF UK KAGIK
1.-2.10	kontrola a měření souřadnic vzorníkových stromů	ÚVGZ
11.10.2023	měření LAI, kontrola čidel pro měření půdní vlhkosti	ÚH
22. - 23. 11. 2023	hydrologický průzkum v povodí horní Úpy	PřF UK KFGG

Pořízení a analýza souboru datových vrstev popisujících vývoj lesního pokryvu území Rašelinového potoka ve dvou sezónách (výstup analýzy UAS dat) - PřF UK, tým KAGIK

Na dvou plochách vytipovaných lesníky KRNAP, které se nachází blízko sebe (cca 500 m), - jedna plocha s lesem postupně odumírajícím v důsledku kůrovcového poškození (Hydro1 – viz obrázek 1 a 2) a druhá plocha se zdravým lesem (Hydro2 – obrázek 1 a 2) byla stejně jako v roce 2022 pořízena i v roce 2023 ve třech termínech v průběhu vegetační sezóny data dronem Atmos Marlyn a kamerou MicaSense Altum, případně dronem DJI Phantom 2 Multispectral.

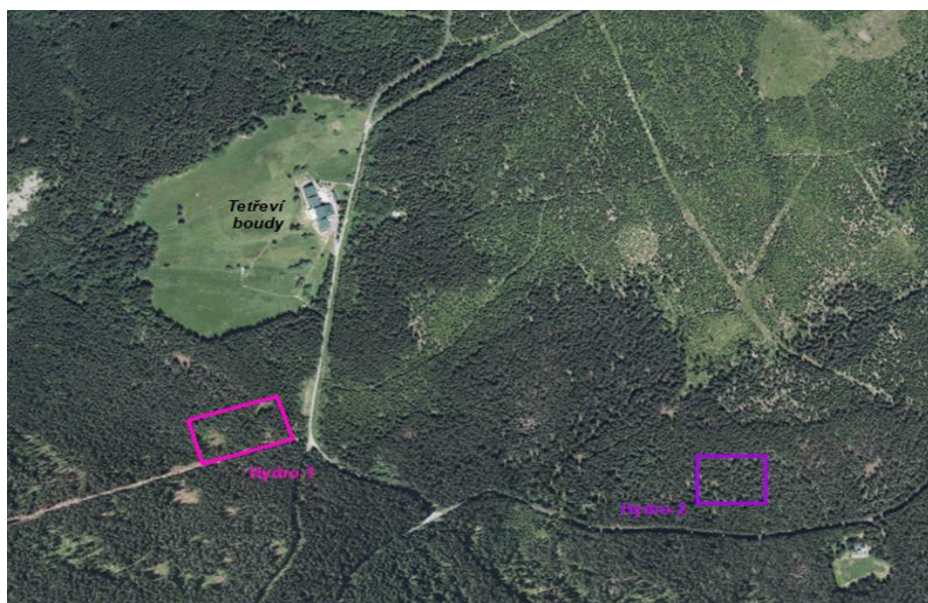
Data byla pořízena s prostorovým rozlišením 6 cm, mají 5 spektrálních pásem (Red, Green, Blue, RedEdge a NIR) a předzpracována v software Agisoft Metashape, případně v software PIX4D. Pro vyhodnocení stavu/pokryvu lesů v zájmových plochách byly vytvořeny produkty NDVI (normalizovaný diferenční vegetační index) a LAI (index listové plochy) pro všech 6 termínů a pro obě území (poškozený a zdravý les). Ukázka výsledných map LAI a NDVI viz obrázek 3.

K výpočtu NDVI byl využit vzorec: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$

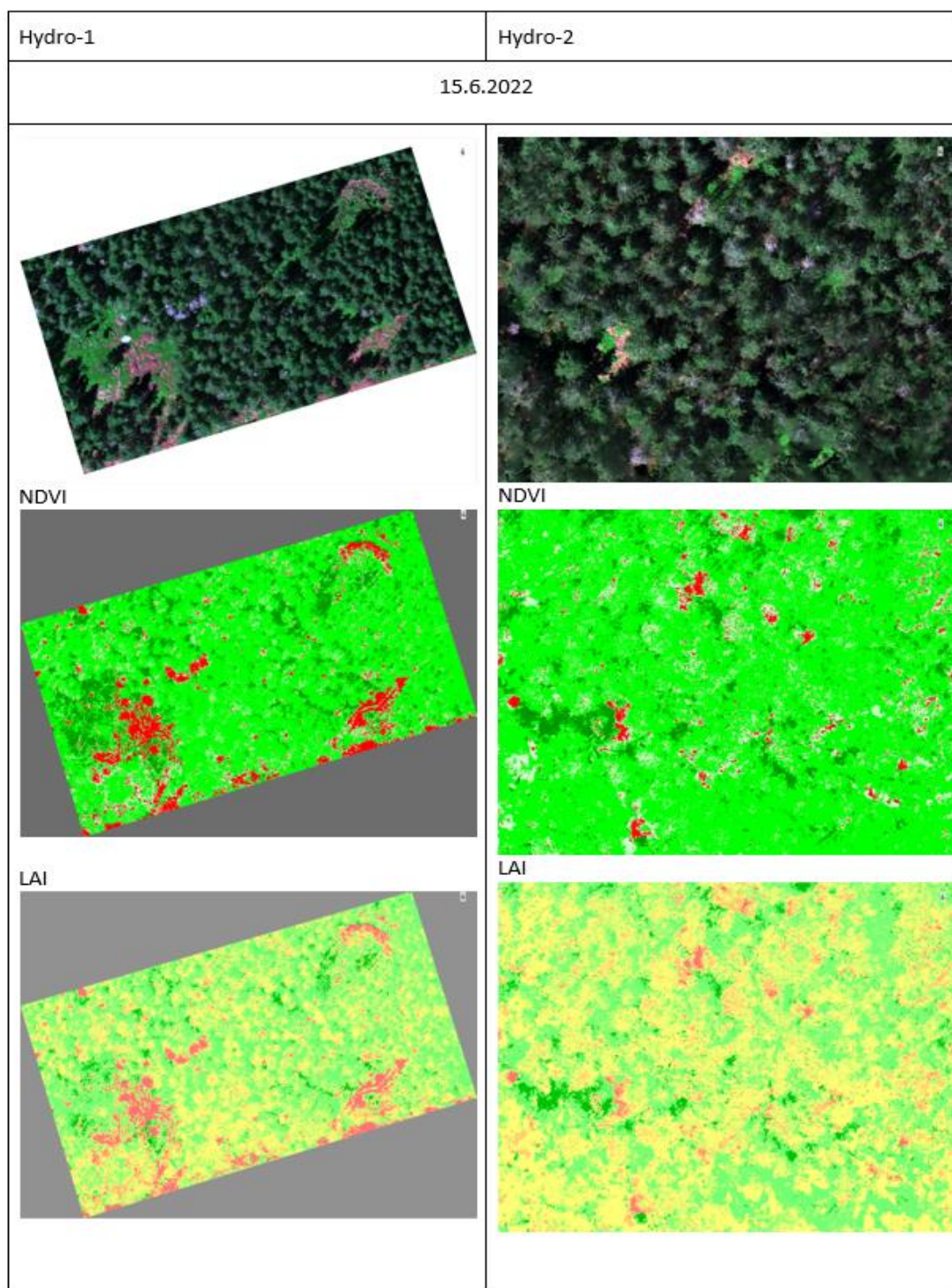
K výpočtu LAI byl použit vzorec: $LAI = 0.57 * \exp(2.33 * NDVI)$ (Satito et al. 2001)

Další výstupy viz Dokument prokazující dosažení výsledků zde: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>






Obrázek 2: Lokalizace ploch Hydro1 a Hydro2 v povodí Rašelinového potoka (oblast Tetřevích bud).









Obrázek 3: Náhledy pořízených multispektrálních dat pro plochy Hydro-1 a Hydro-2 a výsledné mapy NDVI a LAI ve všech čtyřech termínech



Legenda NDVI

-  holá půda, suché dřevo
-  background
-  usychající stromy, drobný podrost
-  zelené stromy, podrost
-  nejzelenější stromy a hustý zelený podrost

Legenda LAI

-  background
-  0 - 2
-  2 - 3
-  3 - 4
-  4 - 5
-  5 - 6

Z výsledných map NDVI a LAI (viz obrázek 3) jsou patrné jednak změny v čase pro obě sledované plochy a dále porovnání ploch mezi sebou. Potvrdil se předpoklad postupného zhoršování stavu lesa (na základě snížení hodnot indexu NDVI) i snížení zapojení lesa (na základě hodnot LAI) v čase na ploše Hydro1. Větší změna je patrná zejména mezi termíny 11.7.2023 a 15.8.2023, protože v tomto období byly z plochy Hydro1 pokáceny a odstraněny kůrovcem poškozené stromy. Na ploše Hydro2 byl lesní pokryv lesa stabilně hustší, zapojení lesa větší. I zde došlo v průběhu času k mírnému snížení.

Pro hydrologické modelování budou využity průměry hodnot LAI – testována budou různě velká okolí od bodů umístění čidel, která měří vlhkost půdy. Data budou dále hodnocena v širším kontextu dalších získaných výsledků a budou předmětem odborné publikace.

Dokončení tvorby datové sady biochemických vlastností listoví (PřF UK – tým KEBR, ÚVGZ)

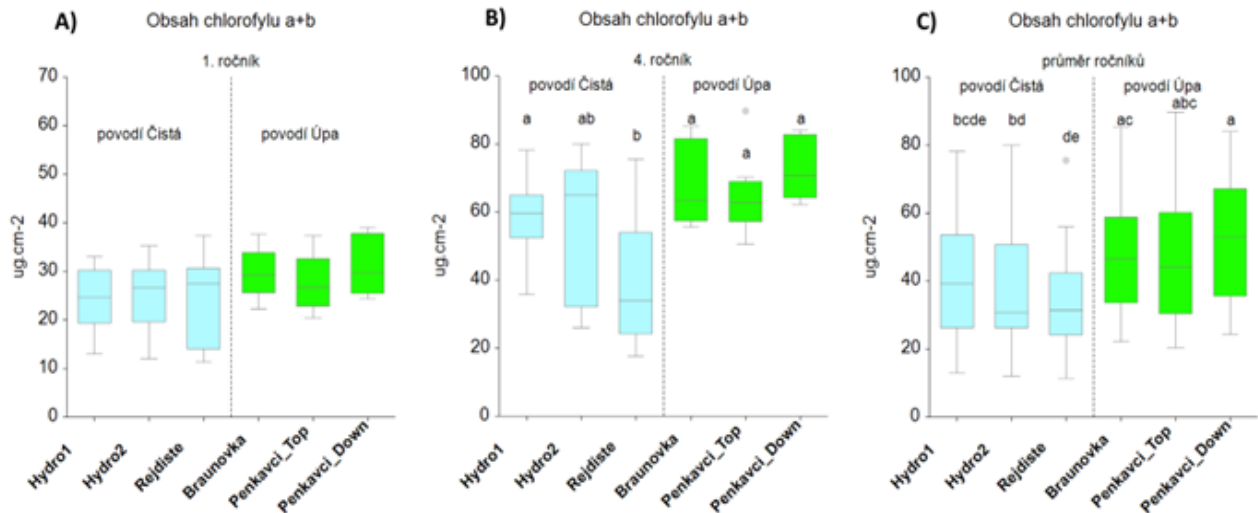
V roce 2023 byly dokončeny laboratorní analýzy biochemických a biofyzikálních parametrů jehlic. Datová sada byla finalizována (V21) a využita pro interpretaci hyperspektrálních leteckých dat (viz dále Czech Globe).

Obsah chlorofylu a, b a celkových karotenoidů, dále obsah vody a sušiny vztažený na polovinu povrchu jehlice byl stanoven zvlášť pro jehlice 1., 2. a 4. ročníku. První předběžné zpracování výsledků proběhlo na stanovištích s porosty staršími 50 let. Průměrný obsah chlorofylu v prvním ročníku jehlic se nelišil mezi zkoumanými plochami. Bez ohledu na rozdílný makroskopický stav jedinců měly stromy standardní obsah chlorofylu v nejmladších jehlicích (15-35 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$). Za povšimnutí stojí vyšší rozptyl hodnot na stanovišti Rejdiště, kde byl shledán gradient v mikroskopickém poškození od vyšších k nižším polohám na ploše. Analýza 4. ročníků jehlic poukázala na degradační procesy ve starších jehlicích, které se projevují i barevnými změnami v koruně. Obsah chlorofylu ve starších jehlicích byl vyšší na všech plochách z povodí Úpy oproti ploše Rejdiště v povodí Horní Čisté, Obrázek 4B. Při hodnocení průměrného obsahu chlorofylu pro všechny ročníky byly nejvyšší hodnoty u stanoviště z úbočí Pěnkavčího vrchu (Penkavci-Down, povodí Horní Úpa), nejnižší na vysoce heterogenním stanovišti Rejdiště (povodí Horní Čistá), obrázek 4B, C.

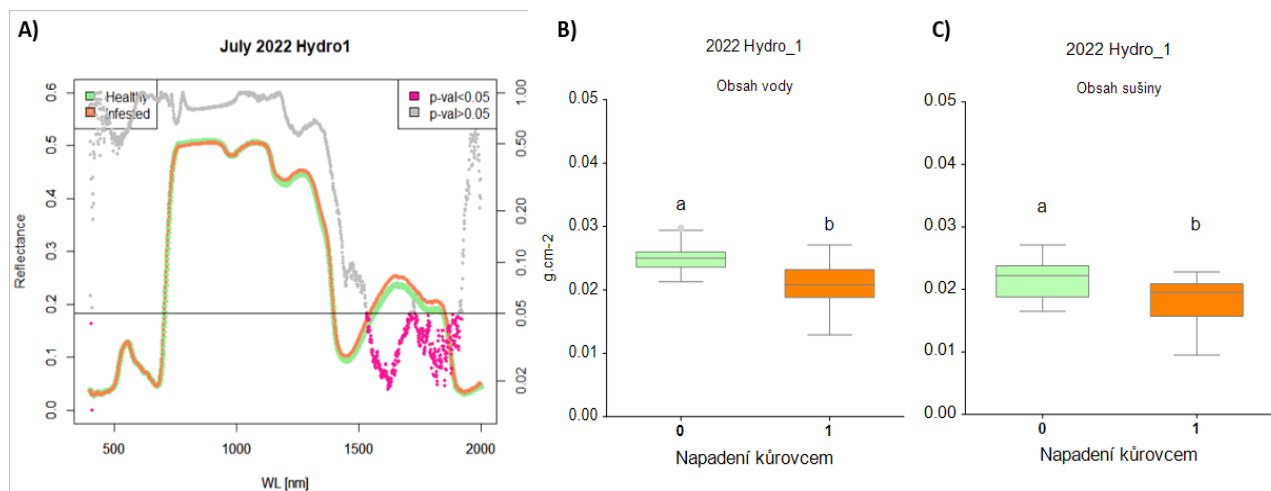
Na jehlicích ze 22 stromů odebraných na ploše "Hydro 1", kde byla nejvýraznější nákaza kůrovcem byla v roce 2022 změřena v laboratoři reflektance na úrovni jehlic v integrační sféře. T-testem pro odrazivost v jednotlivých vlnových délkách v rozsahu spektra 400-2000 nm byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi reflektancí jehlic z napadených a nenapadených stromů v oblasti SWIR (1550–1800 nm). Tyto rozdíly nejlépe korespondují z měřených biochemických parametrů s obsahem vody a sušiny v jehlicích (obrázek 5). Rozdíly v odrazivosti byly průkazné pouze při hodnocení všech věkových kategorií jehlic společně.

V termínu 14.-15. 8. 2023 tým KEBR provedl další odběr vzorníkových stromů na dvou plochách s rozdílnou mírou napadení kůrovcem v povodí Horní Čisté, kde probíhá kontinuální měření režimu půdní vlhkosti. Bezeškodnou horolezeckou technikou byly odebrány vzorky z celkem ze 22 stromů. Na místě byly vyhodnoceny makroskopické indikátory poškození korun (defoliace, barevné změny) a na odebraných výhonech bylo provedeno in-situ měření rychlé kinetiky fluorescence chlorofylu. Výhony 1., 2. a 4. ročníku byly převezeny do laboratoře PřF UK a následující den byly odebrány vzorky na biochemickou analýzu (pigmenty) a změřeny optické vlastnosti jehlic v integrační sféře. V současnosti probíhá laboratorní zpracování těchto vzorků a biofyzikální parametry jehlic z roku 2023 jsou nad rámec datové sady SS05010124-V21. Výsledky z laboratorních analýz budou využity k interpretaci UAV dat získaných ve stejném termínu.

Obrázek 4: Obsah chlorofylu a+b v jehlicích stromů na vzorkovaných lokalitách v zájmové oblasti KRNP, porosty starší 50 let. a) průměrný obsah chlorofylu v jehlicích 1. ročníku b) průměrný obsah chlorofylu v jehlicích 4. ročníku; c) průměrný obsah chlorofylu ve všech vzorkovaných ročnících; modře plochy z povodí Horní Čistě, zeleně plochy z povodí Úpy; Analýza rozptylu jednoduchého třídění, Kruskal-Wallis Z-test. Rozdíly hodnoceny jako průkazné na hladině $\alpha = 0.05$. Rozdílná písmena nad krabicovými diagramy značí průkazný rozdíl.



Obrázek 5: A) Reflektance jehlic z plochy napadené kůrovcem. Zeleně stromy nenapadené, oranžově stromy napadené. Pravá osa Y odpovídá šedo-růžové křivce zobrazující p-hodnoty dvouvýběrového t-testu pro odrazivost v jednotlivých vlnových délkách v rozsahu 400-2000 nm. Šedě $p > 0.05$ neprůkazný rozdíl, růžově $p < 0.05$ průkazný rozdíl. B) Obsah vody v jehlicích nenapadených (0) a napadených stromů (1) na ploše Hydro 1. Rozdílná písmena nad krabicovými diagramy značí průkazný rozdíl na hladině $\alpha = 0.05$. C) Obsah sušiny v jehlicích nenapadených (0) a napadených stromů (1) na ploše Hydro 1. Rozdílná písmena nad krabicovými diagramy značí průkazný rozdíl na hladině $\alpha = 0.05$.



Analýza vývoje land cover na základě časové řady volně dostupných (bezoblačných) družicových dat Landsat od roku 1984 do současnosti a tvorba dílčí metodiky (PřF UK, tým KAGIK)

V roce 2022 vznikl výsledek V8 Soubor datových vrstev popisujících stav krajinného pokryvu ve sledovaných povodích v jednotlivých letech analýzy (výstup analýzy družicových dat). V prostředí Google Earth Engine (GEE) byly vytvořeny skripty pro generování bezoblačných kompozitů LANDSAT (od roku 1985) a Sentinel-2 (od roku 2017) z období vegetační sezóny (počátek června až konec září). Ve spolupráci s hydrology byla vytvořena legenda (vyhovující pro vstup do hydrologického modelu SWAT, do něhož budou vytvořené datové vrstvy land cover vstupovat v dalších letech). Na základě sběru dat v terénu a z ortofot byla vytvořena sada trénovacích a validačních dat. Datové vrstvy krajinného pokryvu vznikly řízenou klasifikací družicových snímků algoritmem Random Trees v softwaru ArcGIS Desktop. Bylo vytvořeno 27 datových vrstev popisujících krajinný pokryv mezi lety 1985 a 2022 na základě klasifikace dat Landsat s prostorovým rozlišením 30 m. V roce 2023 byl soubor dále zpřesněn.

V roce 2023 byl následně navržen metodický postup využití družicových dat DPZ pro monitoring změny krajinného pokryvu s důrazem na hodnocení změn lesních porostů, který sestává z 5 kroků:

1. Výběr a předzpracování družicových dat

Primárně použita data Landsat z období 1985–2022 korigovaná na odrazivost na zemském povrchu („surface reflectance“). Cílem bylo pro každý rok vytvořit bezoblačnou mozaiku jako zvolený percentil (40–60) bezoblačných a radiometricky korektních pixelů v rámci vegetační sezóny (DOY 150–270). Roky, kde kvalitní bezoblačné mozaiky nebylo možné dosáhnout, byly pro účel vývoje metodiky vynechány, popř. nahrazeny dvou či tříletým kompozitem. Pro každou z 27 mozaik byly spočítány spektrální indexy NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDII (Normalised Difference Infrared Index), NBR2 (Normalised Burn Ratio) a hodnoty Greenness, Brightness a Wetness Tasselled Cap transformace (TCG, TCB, TCW). Jako další vrstva byly přidány výšky z modelu SRTM.

2. Klasifikační legenda

Po experimentech s různě podrobnou legendou je výsledná legenda následující:

Kód třídy	Třída krajinného pokryvu
100	Zástavba a komunikace
200	Louky (včetně přírodních), pastviny
310	Listnatý les
320	Jehličnatý les
323	Jehličnatý les odumřelý
330	Smíšený les
340	Přechodová stadia lesa a křoviny
350	Holiny, oblasti s nízkou vegetací
400	Kosodřevina
500	Rašeliniště
600	Skály, kamenná moře
700	Vodní plochy a toky

3. Klasifikace

Pro klasifikaci krajinného pokryvu byla zvolena řízená klasifikace pomocí algoritmu Random Trees (implementace v ArcGIS Desktop v10). Sběr trénovacích množin od roku 1997 proběhl vizuální interpretací dostupných ortofot v kombinaci, popř. kontrolou nad daty Landsat. V roce 2022 navíc

proběhlo terénní šetření pro upřesnění některých kategorií (zejména přechodová stadia lesa). Třída zástavba a komunikace byla vygenerována na základě Open Street Map. Třída vodní plochy a toky, byla zvektorizována nad ortofotem a vložena do výsledné klasifikace.

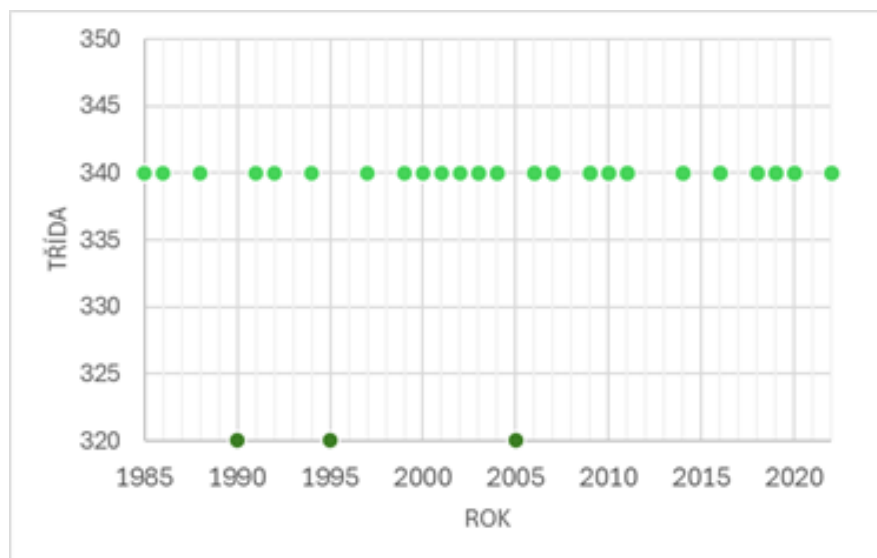
Klasifikace byla pro časové horizonty 2001, 2010, 2016, 2018 a 2022 validována nad téměř 1 500 validačními body získanými vizuální interpretací ortofota.

Podrobnosti o předzpracování dat byly jí popsány v Souhrnné zprávě o výsledcích řešení projektu v roce 2022 (výsledky V2 a V8).

4. Postklasifikační úpravy

V roce 2023 proběhly úpravy klasifikace s cílem potlačit chyby způsobené šumem ve vstupních datech (snímcích a trénovacích množinách). Postklasifikační úpravy byly provedeny ve dvou krocích – nejprve byl použit majoritní filtr a následně došlo k odstranění nereálných změn krajinného pokryvu v rámci časové řady (jeden z výstupů viz obrázek 6)

Obrázek 6: Příklad falešných změn v časové řadě krajinného pokryvu – třída jehličnatého lesa (320) bude nahrazena třídou přechodových stadií (340).



5. Analýza a interpretace časových řad

Změny lesních porostů jsou vyhodnocovány na základě:

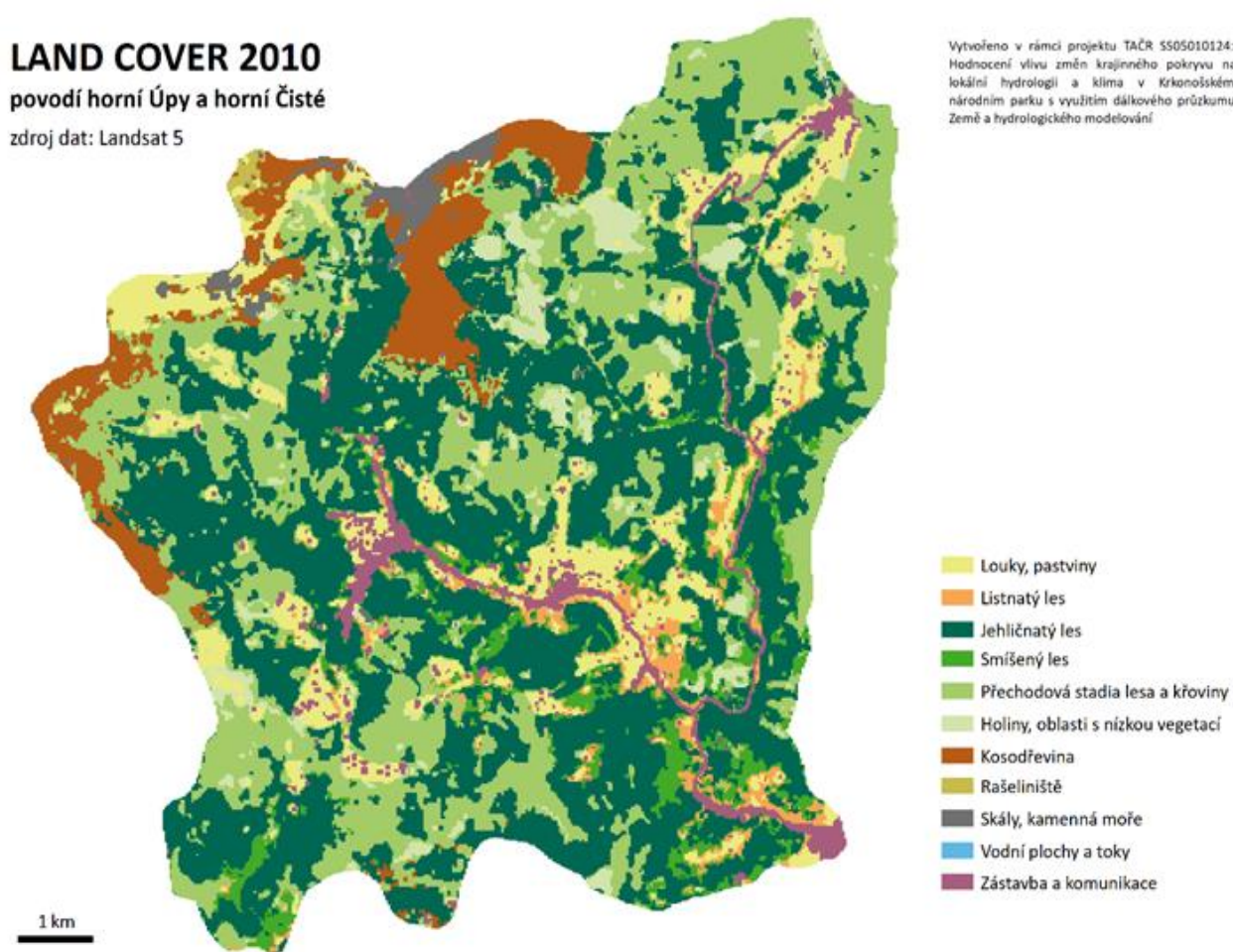
a) časové řady výstupů klasifikace – mapové výstupy (mapy stabilních ploch, počet změn, mapy změn mezi dvěma časovými horizonty, rok změny v daném pixelu...) a statistické výstupy (rozlohy stabilních ploch, rozlohy ploch daných tříd v daných letech, změny rozloh mezi vybranými časovými horizonty...)

b) časové řady vybraných indexů – NDVI, IFZ - „integrated forest z-score“ (Huang et al., 2010), DI – index disturbance (Healey et al., 2005). Z trendu DI (tj. hodnota směrnice regresní přímky) v daném časovém úseku lze sledovat vývoj celkového stavu lesního porostu. Všechny tři indexy navíc vstupovaly do algoritmu LandTrendr (Kennedy et al., 2010), pomocí něhož je možné určit pro každý pixel např. rok největší změny, popř. nárůst nebo pokles daného indexu, největší hodnotu indexu, resp. jeho úbytek či přírůstek.

Vlastní metodický postup je obsažen ve výsledku V6 *Dílčí metodika využití družicových dat DPZ pro monitoring změny krajinného pokryvu s důrazem na hodnocení změn lesních porostů*.

Výsledkem řízené klasifikace a postklasifikačních úprav je sada rastrů ve formátu tif (souřadnicový systém WGS 84/UTM 33N, kód EPSG 32633, prostorové rozlišení 30 m) obsahující třídy krajinného pokryvu dle výše uvedené legendy (na obrázku 7 je ukázka pro rok 2010) pro 27 časových horizontů v období 1985–2022. Přesnost klasifikace ve vybraných letech byla ověřena s využitím ortofota (rozlišení 0,20 – 0,50 m). Dosahuje 70 až 80 %. Z vegetačních tříd F1 skóre nabývá nejvyšších hodnot pro louky a pastviny, jehličnatý les a kosodřevinu.

Obrázek 7: Mapa krajinného pokryvu vytvořená z bezoblačné mozaiky snímků Landsat pro vegetační sezónu 2010. Absolutní přesnost klasifikace 70 %, F1 skóre dílčích tříd v intervalu od 35 % (smíšené lesy) do 91 % (skály a kamenná moře).

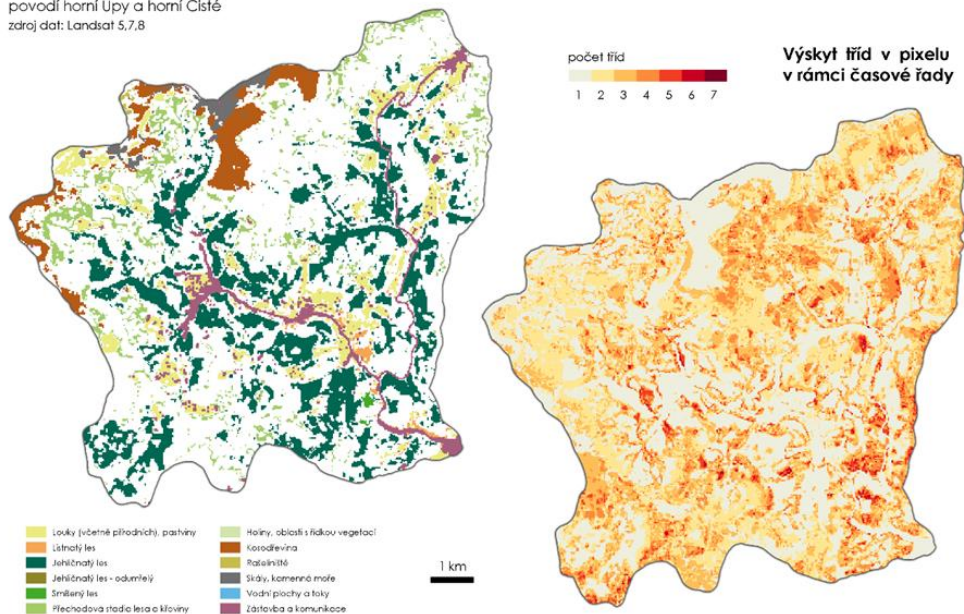


Analýza časové řady klasifikace krajinného pokryvu umožňuje získat výstupy typu zastoupení neměnných ploch, počet změn třídy v daném pixelu v průběhu celého sledovaného období, nejčastěji se vyskytující změna apod. Mapy na obrázku 8 zobrazují stabilní plochy v zájmovém povodí a počet tříd krajinného pokryvu vyskytujících se v daném pixelu v průběhu sledovaného období.

Obrázek 8: Výstup analýzy časové řady klasifikace – stabilní plochy v zájmovém území a počet tříd vyskytujících se v daném pixelu během sledovaného období.

STABILNÍ PLOCHY LAND COVER v letech 1985–2022

povodí horní Úpy a horní Čistě
zdroj dat: Landsat 5,7,8

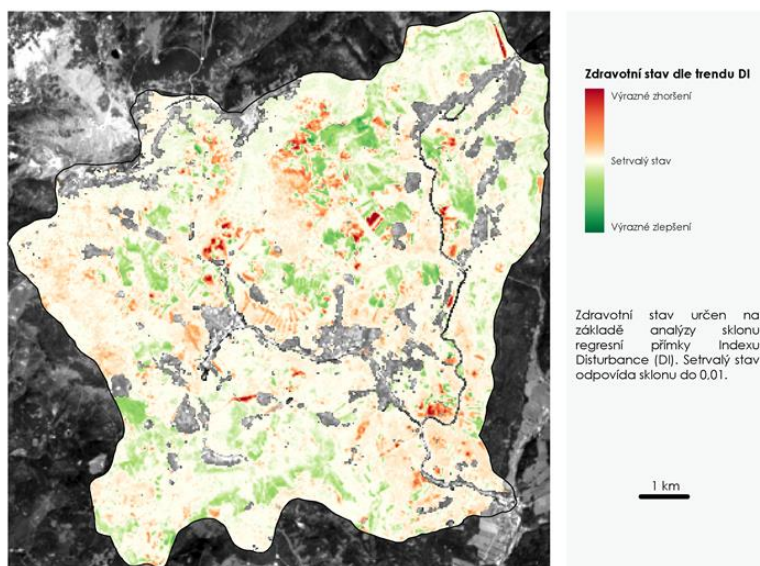


Analýza časových řad odvozených indexů – NDVI, IFZ, DI umožňuje detekovat termín degradace lesního porostu (polom, zničení lesa škůdцем, vykácení) či naopak jeho obnovy. Z vypočteného trendu DI lze lokalizovat území se zlepšujícím/zhoršujícím se stavem lesního porostu ve zvoleném časovém období (obrázek 9). K určení termínu největší změny lesního porostu lze využít algoritmus LandTrendr (Kennedy et al., 2010).

Obrázek 9: Trend indexu disturbance (DI) v období 2002 a 2022. Kladné hodnoty určují degradaci lesního porostu, negativní hodnoty jeho zlepšení. Hodnoty blízké nule (+/- 0,01) indikují setrvalý stav.

TREND INDEXU DISTURBANCE v letech 2002–2022

povodí horní Úpy a horní Čistě
zdroj dat: Landsat 5,7,8



Navržená metodika (která je jako celek dostupná na webu projektu zde:

<https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>) je přenositelná na jiné typy družicových dat podobného spektrálního a prostorového rozlišení (zejména Sentinel-2), popř. harmonizovaných produktů (HLS).

Analýza zdravotního stavu lesních porostů na základě družicových a leteckých dat dálkového průzkumu a tvorba specializovaných map z výsledků analýzy (s využitím podkladů z laboratorní analýzy vzorků listoví – viz bod 3) - ÚVGZ, PŘF UK

Činnosti zaměřené na interpretaci družicových a leteckých dat dálkového průzkumu ve vztahu ke zdravotnímu stavu lesních porostů (WP2) jsou podrobně popsány v DPDV (Dokument prokazující dosažení výsledku) k výsledku V24. Byla vypracována analýza krátkodobého trendu zdravotního stavu lesních porostů v povodí Čisté Úpy z družicových dat Sentinel-2A a 2B za období 2017 - 2023. Dostupné multispektrální snímky z družice Sentinel-2 byly nejprve agregovány do podoby ročních bezoblačných kompozitů, zahrnující letní pozorování mezi 1.6. a 30.8., tak abychom maximálně eliminovali vliv oblačnosti a sněhové pokrývky. Výsledkem je časová řada ze sedmi snímků, zachycující medián odrazivosti povrchu v období vegetačního maxima dané sezóny. Pro každý kompozit byl vypočten vegetační index „Disturbance Index“ (DI), který kombinuje komponenty Brightness, Greeness a Wetness transformace Tasseled Cap (Healey et al., 2005). Pomocí výpočtu sklonu regresní přímky časové řady indexu DI za sledované období 2017–2023 jsme vytvořili mapu krátkodobého trendu zdravotního stavu zájmového území povodí Čisté Úpy. Mapa identifikuje oblasti se zhoršujícím se, stagnujícím či zlepšujícím se stavem lesních porostů. V případě výrazného zhoršení se jedná o disturbance v podobě těžby či nějaké náhlé kalamitní události či odumírání lesních porostů.

Dalším mapovým výstupem byla analýza leteckých hyperspektrálních dat. Letecká data zachycují aktuální stav lesních porostů v době jejich pořízení, 17. červenec 2022, s vyšším prostorovým a spektrálním rozlišením než výše zmíněná družicová data Sentinel-2. Pomocí dat z pozemních odběrů byly nakalibrovány dva lokální regresní modely, jeden kvantifikující obsah chlorofylu $a + b$ a druhý obsah vody v listovém aparátu dominantních smrkových porostů v zájmovém území povodí Čisté Úpy. S tímto souviselo i vyhodnocení analýz biochemických vlastností listoví, jejich agregace na úrovni jednotlivých stromů a vyhodnocení statistických rozdílů mezi lokalitami. V termínu 1. - 2. 10. 2023 jsme provedli opakovaný terénní průzkum zájmových lokalit. Cílem terénního šetření bylo zmapovat stav vzorníkových stromů ke konci vegetační sezóny 2023 s ohledem na stav v roce předcházejícím, identifikovat vzorníkové stromy vybrané v roce 2022, které byly v důsledku poškození kůrovcem již pokáceny, a zaměřit pozice nově vybraných vzorníkových stromů, ze kterých byly provedeny odběry v létě 2023. Při této příležitosti byly znovu zaměřeny pozice vzorníkových stromů z roku 2022 pomocí GNSS sestavy. Bodová vrstva souřadnic stromů byla porovnána s předchozími měřeními pozic stromů.

Vyhodnocení vývoje klimatických a hydrologických poměrů (PŘF UK, tým KFGG)

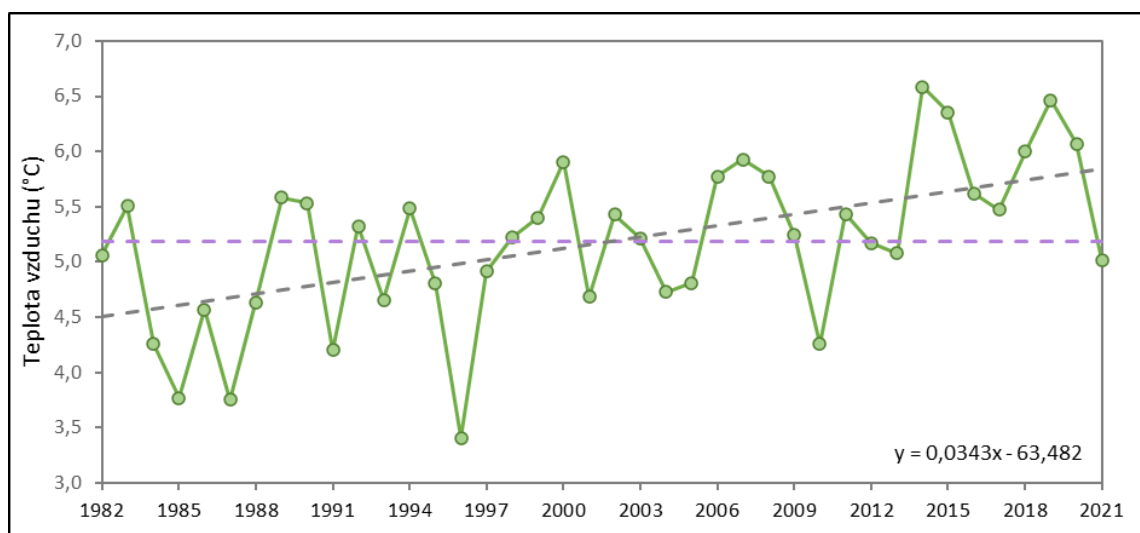
Vývoj hydroklimatických proměnných byl hodnocen pro horní tok Úpy po profil Horní Maršov a horní tok Čisté po profil Černý Důl. Jako vstupní data byly využity homogenizované datové řady ČHMÚ, konkrétně průměrné denní průtoky Q_d pro limnigrafické stanice: Horní Maršov (Úpa), Modrý důl (Modrý potok), Černý důl (Čistá). Dále průměrné denní teploty pro stanice: Pec pod Sněžkou, Luční Bouda, Vrchlabí, Sněžka, Labská Bouda a denní úhrny srážek pro stanice: Pec pod Sněžkou, Dolní Dvůr, Horní Maršov, Labská Bouda, Luční Bouda, Sněžka. Základním analyzovaným obdobím je 1982-2021.

Vývoj teplotní poměrů vzduchu dokumentuje např. stanice Pec pod Sněžkou (816 m n.m.). Jedná se o jedinou stanici měřící teplotu vzduchu na úpatí vrcholových partií v povodí horní Úpy a blízko rozvodnice povodí horní Čisté, která nemá velké výpadky měření. Vývoj průměrných ročních teplot na

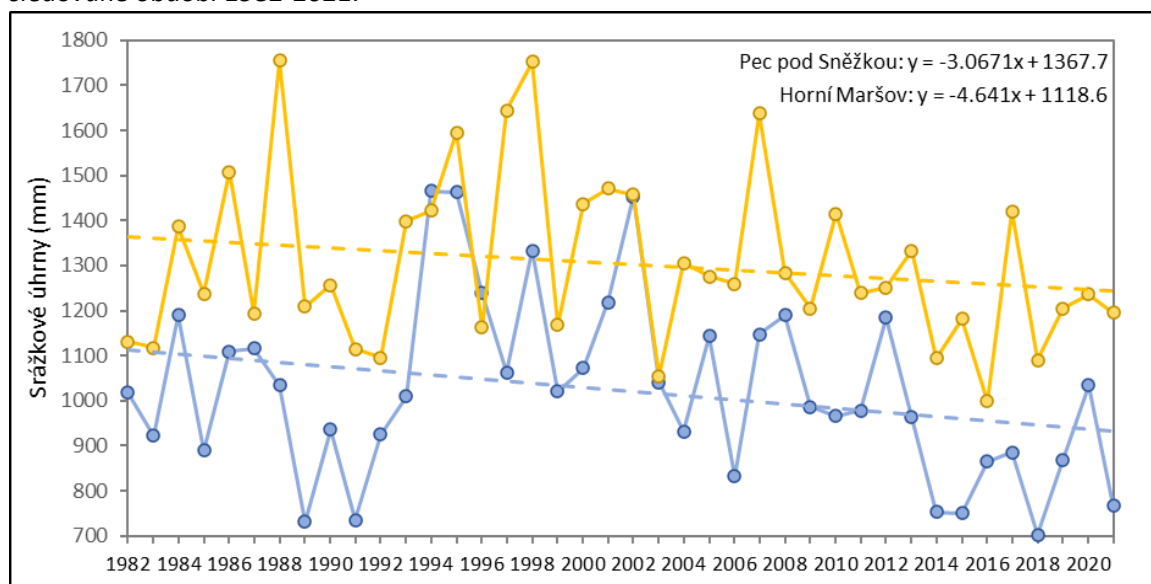
této stanici ukazuje Obr. 10. Podíváme-li se na srážkové úhrny z posledních let, tak lze pozorovat trend poklesu v období posledních 40 let pro stanici Horní Maršov i Pec pod Sněžkou (Obr. 11) a to o více než 150 mm pro obě stanice.

Významnou roli jak na odtoku, tak na formě srážek v oblasti hraje právě sněhová pokrývka. Zpravidla je zde souvislá sněhová pokrývka od listopadu do dubna, ale délka jejího trvání se v posledních letech snižuje. Za posledních 40 let délka trvání sněhové pokrývky na všech sledovaných stanicích výrazně poklesla, např. v Horním Maršově o více než 35 dní. V případě vývoje výšky sněhové pokrývky v Dolním Dvoře a Vrchlabí, můžeme pozorovat její rapidní pokles. S poklesem trvání sněhové pokrývky klesá i celkový počet sněhových srážek a průměrná výška sněhu, která maxima dosahuje v zájmových povodích zpravidla v únoru či březnu. Celkové množství sněhových srážek v oblasti klesá s ohledem na nárůst teploty a srážky ze sněhových přechází do kapalných, a to i již ve vyšších nadmořských výškách. Za sledované období 1982-2021 ve stanici Pec pod Sněžkou kleslo množství srážek ve formě sněhu o více než 150 mm a patrný je i pokles podílu sněhových srážek na celkovém ročním úhrnu o přibližně 10 % (Obr. 12).

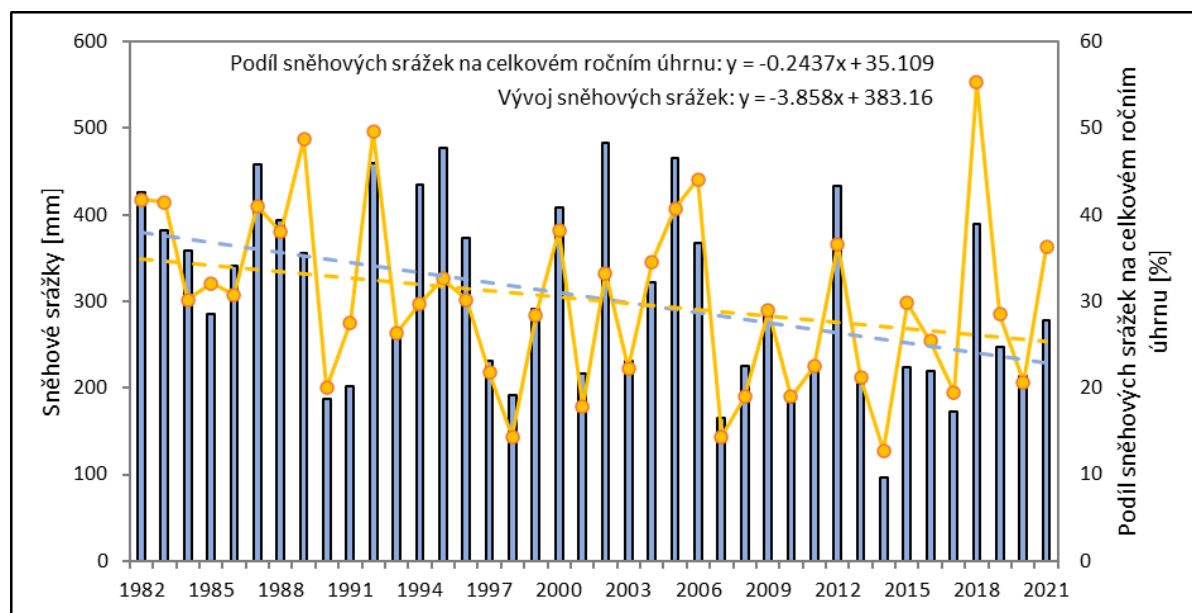
Obrázek 10: Vývoj průměrných ročních teplota na stanici Pec pod Sněžkou (1982–2021).



Obrázek 11: Roční úhrny srážek, stanice Pec pod Sněžkou (oranžově) a Horní Maršov (modře) za sledované období 1982-2021.

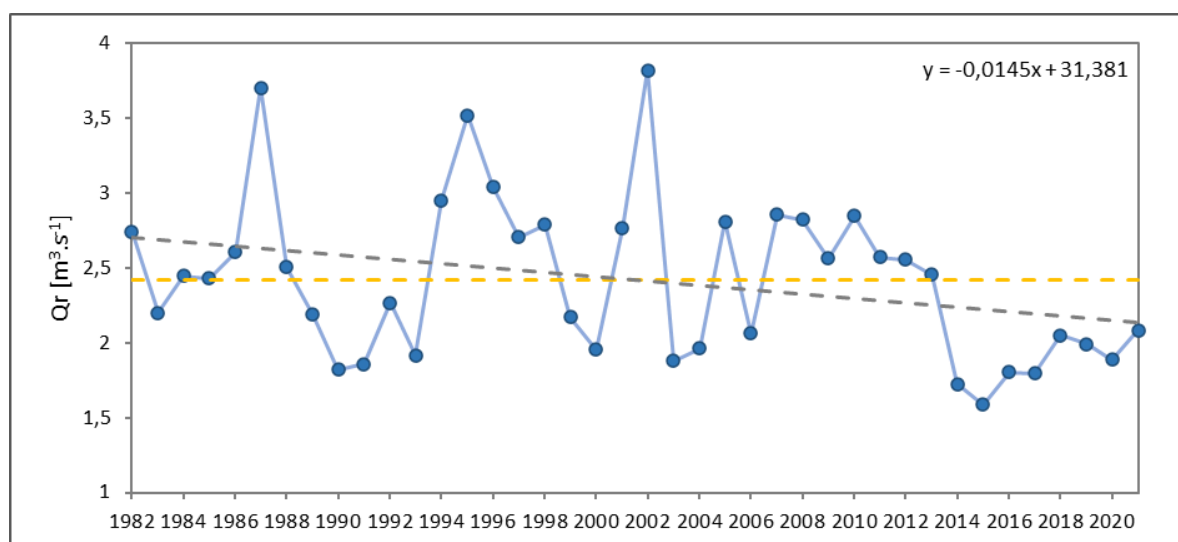


Obrázek 12: Vývoj sněhových srážek (modře) a jejich podílu na celkovém ročním úhrnu (oranžově), stanice Pec pod Sněžkou (1982-2021)



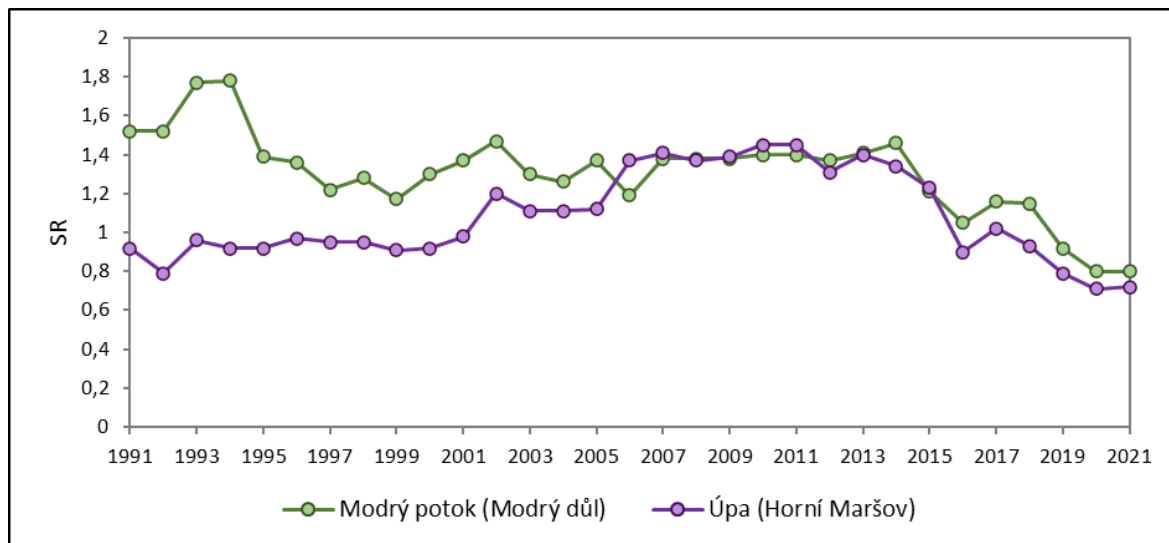
Na stanici Horní Maršov mezi lety 1982-2021 průměrný roční průtok činil $2,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nejvyšší průměrné roční průtoky byly zaznamenány v letech 2002 ($3,82 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a 1987 ($3,70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), nejnižší pak v letech 2015 a 2014 ($1,59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, resp. $1,72 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), přičemž další dvě nejnižší hodnoty byly zaznamenány hned ve dvou následujících letech. Celkově bylo období mezi lety 2014 a 2021 sušší epizodou, kdy ani jeden rok nedosáhl průměrné hodnoty za celé sledované období. To způsobuje lineární tendenci poklesu průměrného ročního průtoky o cca $0,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ za 40 let, což činí více než 25 % (Obr. 13).

Obrázek 13: Vývoj průměrných ročních průtoků mezi lety 1982-2021, stanice Horní Maršov. Oranžová linie: dlouhodobý průměr



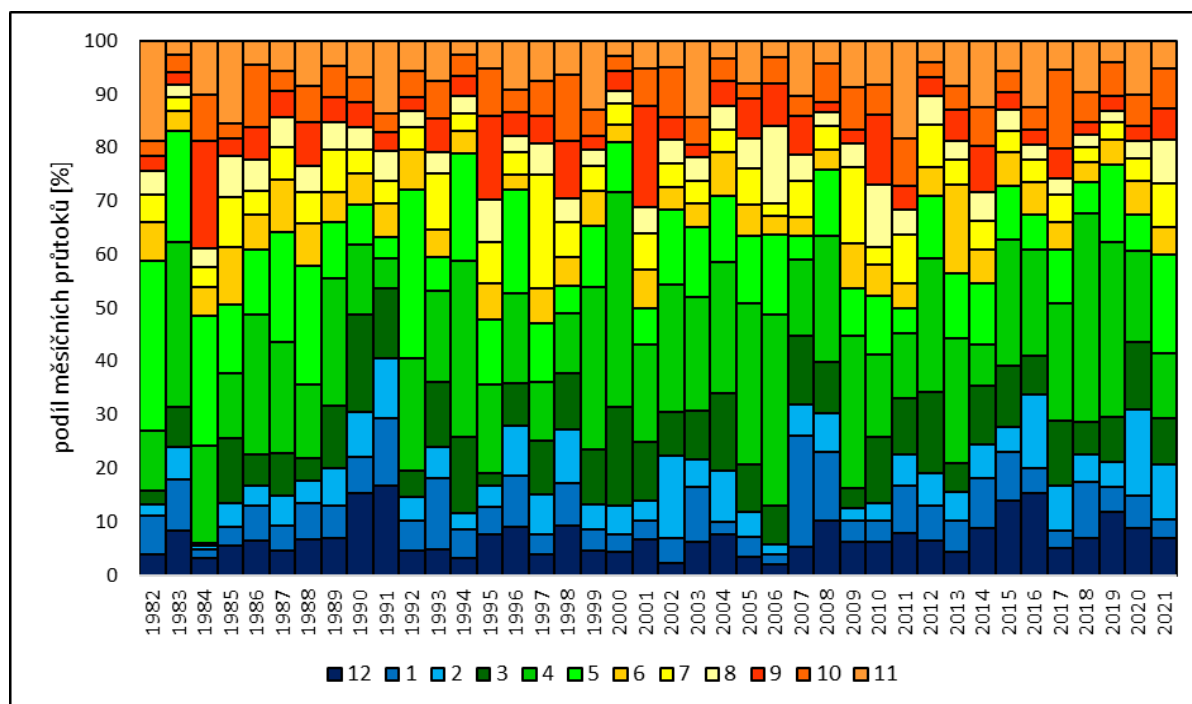
Nízké průtoky se v případě Horního Maršova na počátku sledovaného období vyskytovaly zhruba se stejnou četností v teplé i chladné polovině roku, zatímco Modrý potok byl postihován především nízkými zimními průtoky, z důvodu vyšší nadmořské výšky. V průběhu času ale oba profily shodně vykazují příklon k nízkým letním průtokům, charakterizovaný hodnotami menšími než 1 (Obr. 14).

Obrázek 14: Desetileté seasonality ratio (SR), Horní Maršov, Modrý potok.



Co se týče rozložení chodu měsíčních průtoků během sledovaného období, tak nejvyšší průtoky byly zaznamenány v jarních měsících, zejména v dubnu, kdy se na odtoku výrazně podílí tání sněhu. Naopak letní a podzimní průtoky se na celkovém ročním odtoku podílí nejméně, což dokládá např. rozložení podílů Q_m v povodí Čisté (Obr. 15).

Obrázek 15: Podíl měsíčních průtoků na celkovém odtoku v povodí Čisté, profil Černý Důl (1982-2021)



Vzhledem k rozdílné délce dostupných datových řad srážek a průtoků, bylo vyhodnocení dynamiky interanuální variability a dlouhodobých trendů rozděleno na dvě časová období. Data srážkových událostí byla analyzována na všech stanicích v rozmezí 1962–2021. Hydrologická data průtoků byla analyzována v časovém rozmezí 01.11.1981 – 31.10.2021 (hydrologický rok 1982-2021). Kompletní výsledky statistické analýzy trendů hydroklimatických proměnných jsou v DPDV (Dokument prokazující dosažení výsledku) V33.

V rámci testování teplot vzduchu byla očekávána signifikantní detekce pozitivních trendů, a to v rámci většiny měsíců všech stanic. Stoupající teplota vzduchu, je statisticky potvrzený fakt, který významně ovlivňuje evapotranspirační bilanci a celkovou dynamiku srážkoodtokového režimu. Dle předpokladů, pozitivní trendy byly detekovány na všech stanicích, s dominantním výskytem v jarních a letních měsících (Tab. 2).

Tabulka 2: Výsledky trendového testování měsíčních dat teploty vzduchu (1962-2021). Interval spolehlivosti = 95 %.

M	Labská bouda*		Luční bouda*		Pec p/Sněžkou		Sněžka		Vrchlabí	
	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
1	0.87	0.38	1.70	0.09	2.20	0.03	1.16	0.25	2.21	0.03
2	3.52	<0.00	4.39	<0.00	2.09	0.04	3.01	0.00	4.53	<0.00
3	1.92	0.06	2.05	0.04	2.19	0.03	1.65	0.10	2.34	0.02
4	3.04	0.00	3.20	0.00	4.03	<0.00	2.57	0.01	2.85	0.00
5	1.59	0.11	2.33	0.02	1.98	0.05	1.78	0.08	2.49	0.01
6	3.04	0.00	3.22	0.00	3.38	<0.00	3.32	<0.00	3.46	<0.00
7	2.21	0.03	2.39	0.02	2.48	0.01	3.27	0.00	3.33	<0.00
8	3.46	<0.00	4.25	<0.00	3.32	<0.00	4.19	<0.00	5.50	<0.00
9	0.91	0.36	1.38	0.17	0.70	0.48	1.96	0.05	1.55	0.12
10	0.78	0.44	1.27	0.21	1.44	0.15	0.72	0.47	1.44	0.15
11	2.03	0.04	2.10	0.04	2.53	0.01	2.51	0.01	2.51	0.01
12	1.84	0.07	2.85	0.00	2.80	0.01	2.12	0.03	2.49	0.01

Vysvětlivky: M = měsíc, Z = Z-statistika, p = p-value. Červené zvýraznění = pokles, zelené zvýraznění = nárůst. P-hodnoty: <0.00 = <0.001

Tab. 3 prezentuje výsledky trendové analýzy průměrných měsíčních průtoků. Z výsledků je patrný signifikantní pokles vodnosti v jarních měsících (duben, květen), a to v obou povodích a na všech závěrových profilech. Tyto výsledky korelují také se zjištěnými trendy v rámci srážek – detekovaný pokles v dubnu a květnu, a teplot – detekovaný nárůst ve výše zmíněných měsících. Nízké jarní vodnosti jsou dlouhodobě problematický jev, který je spojen mimo jiné s dynamikou doplňování podzemních zvodní.

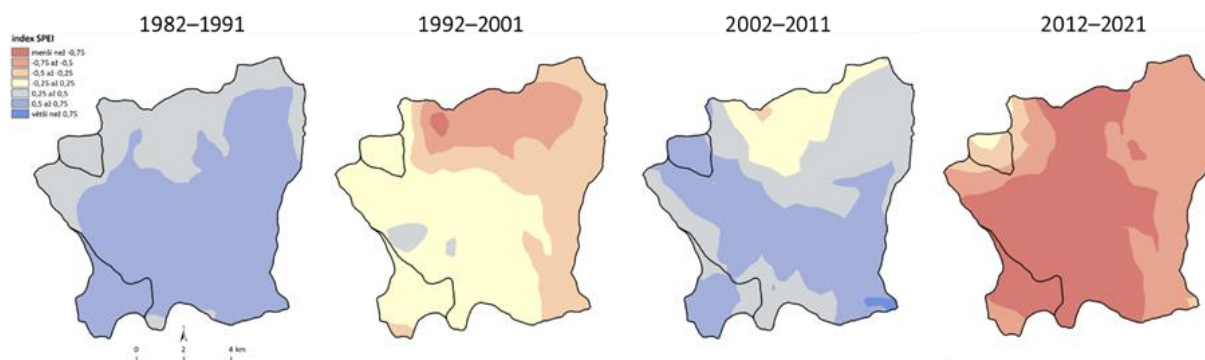
Tabulka 3: Výsledky trendového šetření dynamiky průtoků pro jednotlivé měsíce v rámci analyzovaných povodí. Interval spolehlivosti = 95%

Čistá – Černý Důl		Čistá – Hostinné		Modrý potok		Úpa – H. Maršov		Úpa – Obří Důl	
Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
-0.32	0.75	-1.34	0.18	-0.20	0.84	-0.83	0.41	-0.47	0.64
1.18	0.24	-1.15	0.25	-1.01	0.31	-0.92	0.36	0.15	0.88
-0.52	0.60	-0.87	0.38	-0.50	0.62	-1.41	0.16	-0.92	0.36
1.48	0.14	0.72	0.47	-0.29	0.77	1.13	0.26	-0.12	0.91
0.73	0.46	-1.25	0.21	0.00	1.00	1.07	0.29	-0.86	0.39
0.43	0.67	-3.06	0.00	1.39	0.17	-1.18	0.24	0.24	0.81
-2.39	0.02	-2.99	0.00	-1.78	0.08	-2.90	0.00	-2.19	0.03
-1.18	0.24	-1.92	0.06	-1.95	0.05	-2.90	0.00	-1.87	0.06
-0.41	0.68	-1.06	0.29	-2.13	0.03	-0.36	0.72	-1.84	0.07
-0.62	0.54	-2.25	0.03	-2.59	0.01	-1.13	0.26	-1.69	0.09
-0.92	0.36	-2.13	0.03	-1.63	0.10	-1.04	0.30	-1.90	0.06
0.85	0.40	-1.13	0.29	0.87	0.38	0.76	0.45	0.95	0.34

Vysvětlivky: M = měsíc, Z = Z-statistika, p = p-value. Červené zvýraznění = pokles, zelené zvýraznění = nárůst. P-hodnoty: <0.00 = <0.001

Dále byly provedeny analýzy klimatických a hydrologických proměnných za účelem tvorby specializované mapy. Cílem mapového díla je zobrazit vývoj klimatických a hydrologických charakteristik zájmového území v období 40 let (1982-2021). Jednotlivé mapové výstupy jsou koncipovány pro čtyři dekády, tj. 1982-1991, 1992-2001, 2002-2011 a 2012-2021, které znázorňují vývoj vybraných klimatických a hydrologických proměnných. Výsledky znázorňuje uvedená mapa a textová část výstupu DPDV č. 27. Graficky je znázorněn dlouhodobý vývoj průměrných teplot vzduchu a srážkových úhrnů, dále vývoj vláhové bilance pomocí SPEI indexu a vývoj odtoku pomocí grafického vyjádření změn sezonality, vývoje odtokové výšky a kumulativního deficitního objemu v chladném a teplém půlroce pro jednotlivé dekády (viz Specializovaná mapa a DPDV 27). Obr. 16 ukazuje vývoj SPEI indexu, který je standardizovaným rozdílem spadlých srážek a potenciálního výparu z povodí. Hodnoty SPEI indexu blízko nuly vyjadřují normální stav. Pokud hodnoty indexu klesnou pod -0,5, můžeme hovořit o suchu, naopak hodnoty vyšší než 0,5 ukazují výraznější nadbytek zásob vody oproti dlouhodobému normálu. Výstup poukazuje na výjimečnost desetiletí 2012-21, ve kterém bylo téměř celé zájmové území zasažené suchem kvůli deficitu srážek a také zvýšenému výparu vlivem nad normálních teplot vzduchu.

Obrázek 16: Vývoj SPEI indexu pro jednotlivé dekády v období 1982-2021 (zdroj dat: ČHMÚ)



Simulace odtoku hydrologickým modelem SWAT (Ústav pro hydrodynamiku)

V roce 2023 byla činnost zaměřena zejména na sestavení hydrologického modelu SWAT na dvou zájmových povodích. Jedná se o povodí horní Úpy s uzávěrovým profilem Horní Maršov a povodí Čisté s uzávěrovým profilem Černý Důl. Model SWAT bude v následujícím roce použit pro simulaci vlivu změny land cover na hydrologické poměry v území. Pro sestavení hydrologického modelu Soil and Water Assessment Tool, tj. SWAT (Neitsch et al. 2009) bylo třeba získat relativně široké spektrum vstupních dat. Rozsáhlejší příprava dat se týká především klimatických dat ze staničního měření.

Pro sestavení modelu SWAT byla využita tato vstupní data:

- Digitální model reliéfu (DMR 5G)
- Vrstva krajinného pokryvu (COPERNICUS – CORINE Land Cover (CLC) 2018)
- Vrstva půdního pokryvu (1:200 000, Němečková (2008) - Ústav pro hydrodynamiku AV ČR)
- Klimatická data – denní měření minimální a maximální teploty vzduchu, úhrnů srážek, relativní vlhkosti vzduchu, průměrné rychlosti větru a solární radiace (ČHMÚ)

Pro sestavení vstupních klimatických dat byly vybrány stanice zmíněné v tabulce 4, která zároveň znázorňuje nadmořskou výšku stanice, období měření a měřené klimatické veličiny. Klimatické a srážkoměrné stanice se vyskytují napříč zájmovým povodím nebo v jeho blízkosti a zároveň se nachází v rozdílných nadmořských výškách. Poznámky k jednotlivým stanicím a příprava data je popsána v textu dále.

Tabulka 4: Klimatická data. TMAX, TMIN – maximální, minimální teplota vzduchu, SRA – úhrn srážek, RVV – relativní vlhkost vzduchu, PRV – průměrná rychlost větru, RAD – solární radiace

název stanice	nadm. výška [m n. m.]	počátek měření	klimatické veličiny
Pec pod Sněžkou	816	1991	TMAX, TMIN, SRA, RVV, PRV, RAD
Luční bouda	1413	1/2009	TMAX, TMIN, SRA, RVV, PRV, RAD
Dolní Dvůr	560	1991	SRA
Černý Důl	715	6/2005	SRA
Pomezní boudy	1050	5/1997	SRA
Horní Maršov	585	1991	SRA

Jedinou stanicí, která poskytuje kontinuální měření všech potřebných veličin v období 1991-2021, je klimatická stanice Pec pod Sněžkou.

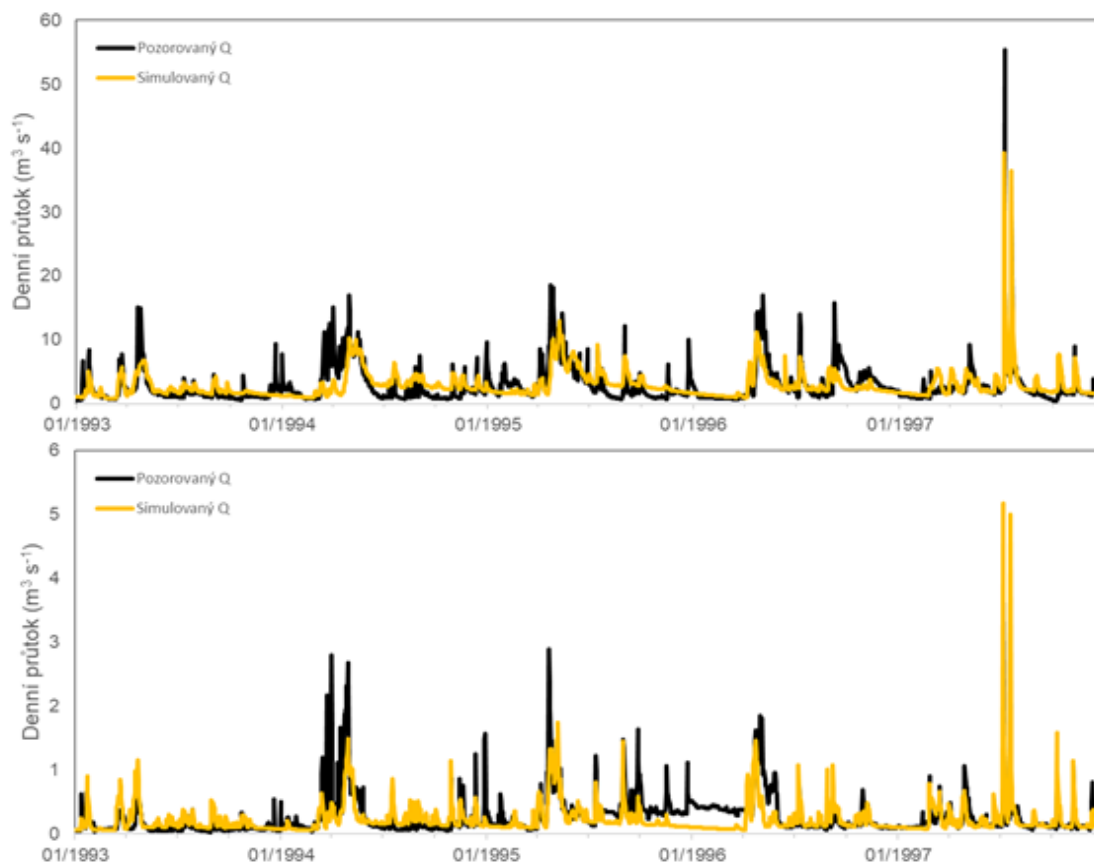
Druhou klimatickou stanicí v zájmovém území nebo jeho okolí je stanice na Luční boudě, u které probíhá měření až od 20. 1. 2009. Proto byla chybějící perioda doplněna daty z klimatické stanice Pec pod Sněžkou. Úhrny srážek a teploty vzduchu byly přepočítány pomocí lineární regrese v závislosti na nadmořských výškách stanic.

Dále se v zájmovém území nebo jeho okolí vyskytují čtyři srážkoměrné stanice s různými počátky měření (viz. tabulka 4). Chybějící periody úhrnů srážek byly doplněny z klimatické stanice Pec pod Sněžkou opět

pomocí lineární regrese v závislosti na nadmořských výškách stanic. Stejným způsobem byly přepočítány a doplněny údaje o teplotách vzduchu. Denní hodnoty zbývajících veličin (relativní vlhkost vzduchu, průměrná rychlost větru a solární radiace) byly převzaty z klimatické stanice Pec pod Sněžkou.

Hydrologický model byl kalibrován na období let 1993-1997 s použitím dvouletého rozběhového období (1991-1992). V rámci kalibračního období bylo dosaženo hodnot Nash-Sucliffova koeficientu 0,47 pro Úpu a 0,45 pro Čistou. Ve validačním období jsou hodnoty koeficientu 0,50 a 0,51. Dle Moriasiho et al. (2007) je tedy simulace ve validačním období uspokojivá. Ukázka běhu modelu v letech 1993-1997 je zobrazena na obr. 17 Chyba v simulaci objemu odtoku je rovná +9,8 % v případě Úpy a -4,8 % u Čisté.

Obrázek 17: Pozorované a simulované průtoky na profilech Horní Maršov, Úpa (horní panel) a Černý Důl, Čistá (dolní panel) za období 1993-1997.

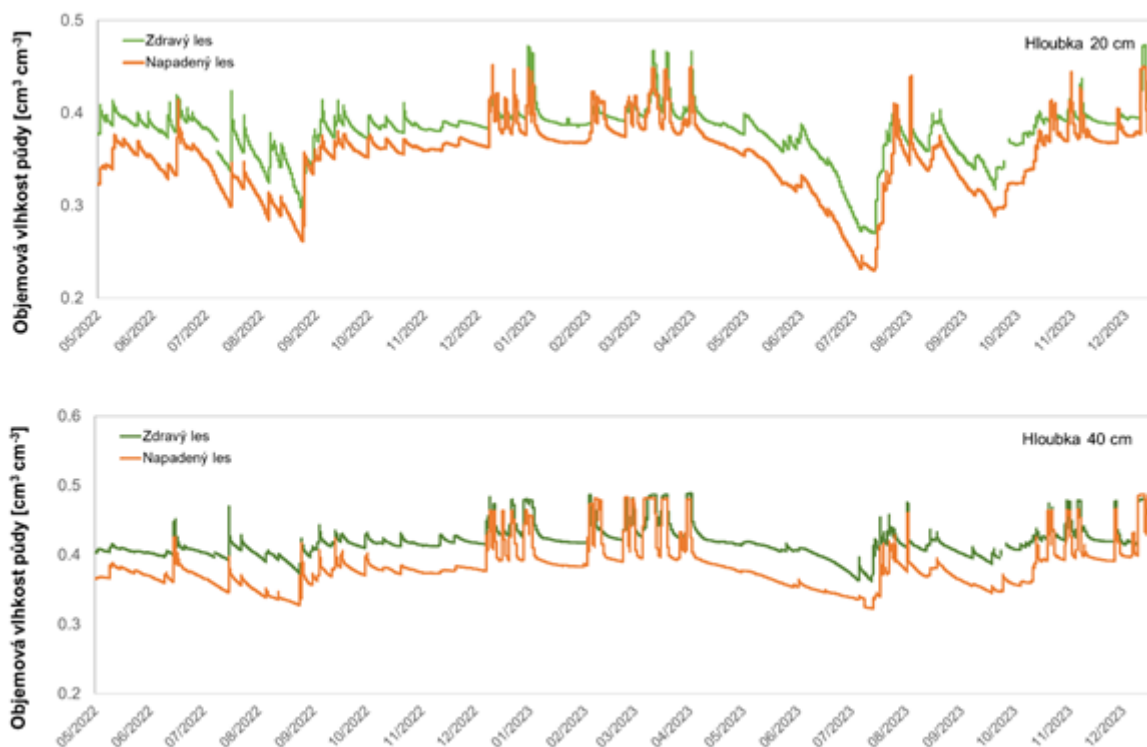


Simulace hydrologického modelu SWAT pro měsíce srpen-říjen 1990–2019 je prezentována na specializované mapě (V19).

Režim půdní vlhkosti v zdravém a napadeném porostu (Ústav pro hydrodynamiku AV ČR)

Dále pokračoval monitoring režimu půdní vody v kůrovcem napadeném a zdravém lese. Měření režimu půdní vlhkosti pokračovalo ve stejném schématu, které bylo založeno na jaře 2022. Průběhy půdních vlhkostí ve dvou sledovaných hloubkách jsou zobrazeny na Obr. 18. Dle výsledků je patrné, že ve zdravém lese je dlouhodobě absolutně vyšší vlhkost půdy, což může být spojeno s odlišnými hydraulickými vlastnostmi půd. Režim půdní vlhkosti je na obou lokalitách podobný a z tohoto důvodu bude v roce 2024 aplikován hydro-pedologický model HYDRUS 1-D. Cílem využití modelu je určit vodní bilanci obou ploch při zohlednění rozdílných hydraulických vlastností půdního profilu.

Obrázek 18: Režim půdní vlhkosti ve zdravém lese a v kůrovcem napadené lokalitě.



Terénní měření indexu listové plochy (Ústav pro hydrodynamiku AV ČR)

V průběhu roku 2023 dále probíhalo terénní měření indexu listové plochy (LAI) pomocí setu přístrojů Li-Cor 2000 Plant Analyzer. Celkově byl LAI změřen ve dvou termínech a to 23.7.2023 a 11.10.2023. LAI je pod stromovým patrem měřen jedním přístrojem 50 opakováních. Opakování tvoří pravidelnou síť 10 bodů v 5 řadách, kdy vzdálenost mezi řadami a body je vždy rovna 5 m. Celkové rozměry zachyceného území jsou tedy 25 x 50 m. Zároveň probíhá měření druhým přístrojem na otevřené ploše tak, aby byla získána referenční hodnota rozptýleného záření bez vlivu vegetace. Výsledky budou vstupovat do modelování (model Hydrus-1).

Aktualizace webu (PřF UK, příspěvky všechny týmy)

Na web projektu byla přidána sekce s výsledky dosaženými v roce 2023 a všechny výsledky, které je možné volně zveřejnit byly v této sekci zpřístupněny – je možné je stáhnout většinou ve formátu PDF, případně formátu geodatových vrstev.

Prezentace a publikace výsledků řešení projektu (PřF UK a Ústav pro hydrodynamiku)

V roce 2023 byly výsledky projektu prezentovány na dvou konferencích. Na základě jedné prezentace vznikl i článek v konferenčním sborníku na WoS/SCOPUS. Druhá prezentace byla formou posteru.

1) Prezentace výsledků projektu na mezinárodní konferenci ISPRS Geospatial Week 2023, 2.–7. září 2023, Káhira, Egypt

Byl prezentován příspěvek Bijou, S., Kupková, L., Potůčková, M., Červená, L., and Lysák, J.: Evaluation of

the bark beetle green attack detectability in spruce forest from multitemporal multispectral UAV imagery.

Prezentované výsledky byly též publikovány formou článku v konferenčním sborníku indexovaném na WOS a SCOPUS: Bijou, S., Kupková, L., Potůčková, M., Červená, L., and Lysák, J.: Evaluation of the bark beetle green attack detectability in spruce forest from multitemporal multispectral UAV imagery. ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., X-1/W1-2023, 1033–1040, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-1033-2023>, 2023.

2) Prezentace výsledků formou posteru na konferenci EGU General Assembly 2023, 23.-28.4.2023, Vídeň

Byl prezentován příspěvek ve formě posteru: Šípek, V., Zelíková, N., Vlček, L., Toušková, J., Tesař, M. (2023) "Soil moisture regime under different forest types".

4. Seznam a stručná charakteristika výsledků/výstupů projektu

V této kapitole přinášíme seznam výsledků, které byly dosaženy nebo rozpracovány v roce 2023, a jejich stručný popis včetně dalšího využití/implementace. Podrobnou charakteristiku výsledků dosažených v roce 2023 obsahují dokumenty prokazující dosažení výsledků (DPDV) a samotné výsledky, které jsou nahrané v SISTA a na webu projektu (<https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>).

Závazné výsledky dosažené v roce 2023

SS05010124-V3

Vsouhrn – Souhrnná zpráva o výsledcích řešení projektu v roce 2022

Stav výsledku: dosažen 12/2023

Souhrnná zpráva shrnuje výsledky projektu, které byly dosaženy v roce 2023 a postup naplňování cílů projektu. Je k dispozici aplikačním garantům Správě KRNP a MŽP ČR pro implementaci výsledků při management lesů v KRNP.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

SS05010124-V6

O – Dílčí metodika využití družicových dat DPZ pro monitoring změny krajinného pokryvu s důrazem na hodnocení změn lesních porostů

Stav výsledku: dosažen 12/2023

Předkládaný výsledek obsahuje metodiku zpracování volně dostupných družicových dat (Landsat, Sentinel-2) pro vytvoření datových vrstev umožňujících detekci změn krajinného pokryvu v zájmových povodích od poloviny 80. let 20. století do současnosti. Dílčími výstupy prokazujícími využitelnost navržené metodiky jsou i) rastry krajinného pokryvu, které vznikly řízenou klasifikací družicových dat a které budou vstupovat modelu SWAT, a ii) ukázky analýzy a interpretace časové

řady rastrů krajinného pokryvu a vybraných indexů vhodných pro hodnocení změn lesních porostů („forest score“, index disturbance, NDVI).

Jako vedlejší produkt vznikl skript pro předzpracování dat v prostředí Google Earth Engine, který může být využíván a popř. dále rozvíjen. Byla navržena sada postklasifikačních pravidel. Vytvořená časová řada klasifikace krajinného pokryvu v zájmových povodích vykazuje v kontrolních časových řezech konzistentní přesnost mezi 70–80 %. Bude využita jako vstup pro simulaci vlivu změn krajinného pokryvu na vývoj hydrologických charakteristik v modelu SWAT.

Dílčí metodika je zásadním vstupem, který bude využit pro tvorbu výsledku NmetS (V1), jenž bude dokončen v roce 2025. Ve výsledku, až bude dílčí metodika implementována do konečné metodiky NmetS, bude hlavním uživatelem MŽP ČR, Správa KRNP, metodiku budou moci využívat i další organizace/instituce zaměřené na monitoring krajinného pokryvu.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

SS05010124-V9

O – Soubor datových vrstev popisujících vývoj lesního pokryvu území Rašelinového potoka ve dvou sezónách (výstup analýzy UAS dat)

Stav výsledku: dosažen 12/2023

Soubor datových vrstev (konkrétně normalizovaný diferenční vegetační index a index listové plochy) popisuje vývoj lesního pokryvu území Rašelinového potoka. Data byla pořízena zejména za účelem získat datový vstup do modelování vodní bilance. Data a výstupy byly pořízeny pro dvě plochy (rozlohy cca 1,2 ha) vytipované kolegy z KRNP. Jedna plocha je pokryta lesem, který byl v několika posledních letech napaden kůrovcem, kůrovec tam způsobil úhyn stromů i v roce 2022, tedy prvním roce pořízení dat a jeho výskyt byl zaznamenán i v roce 2023. Druhá plocha je pokryta zdravým lesem a zdravotní stav lesa se zde prakticky nezhoršil v celém sledovaném období dvou let.

Obě plochy byly na jaře 2022 osazeny čidly půdní vlhkosti. Výsledky získané z dat UAV i z hydrologických měření budou následně vstupovat do hydrologického modelu Hydrus 1-D s cílem určit vodní bilanci obou ploch při zohlednění míry lesního pokryvu a rozdílných hydraulických vlastností půdního pokryvu.

Výsledek přináší informace o stavu lesů v obou územích a jeho vývoji. Podává tak informaci zejména Správě KRNP o stavu lesů na území národního parku. Dále bude výsledek využit v dalším roce řešení projektu jako vstup do hydrologického modelování.

Datové vrstvy NDVI a LAI jsou na odkazu (viz níže) uloženy v .tif formátu. Jsou k dispozici i ortofota zájmových oblastí Hydro1 a Hydro2 ze všech časových horizontů, též ve formátu tif. Datové vrstvy byly publikovány na webu projektu k volnému využití organizacemi ochrany přírody. Vypočtené hodnoty indexů LAI byly předány kolegům z Ústavu pro hydrodynamiku, kteří je využijí pro hydrologické modelování v roce 2024. Výstup bude využit všemi organizacemi, které spolupracují na projektu, pro další práci a publikaci článků a prezentaci výsledků. Výstupy vzniklé na základě UAV dat pořízených v území Rašelinového potoka budou k dispozici Správě KRNP, MŽP ČR, případně AOPK ČR.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

SS05010124-V19

Nmap – Území náchylná k dlouhodobým deficitům půdní vláhy

Stav výsledku: dosažen 12/2023

Náchylnost území v dlouhodobým deficitům půdní vláhy v povodí horní Úpy a horní Čisté, která je ve specializované mapě prezentována, byla vyhodnocena ze simulace hydrologického modelu SWAT pro měsíce srpen-říjen 1990–2019 a to tak, že hodnoty denního množství vody zadržované v půdním profilu byly za toto období zprůměrovány a vztaženy k polní vodní kapacitě půdy.

Specializovaná mapa je založena na dlouhodobé simulaci hydrologického modelu SWAT na dvou zájmových povodích. Jde o povodí horní Úpy s uzávěrovým profilem Horní Maršov a povodí Čisté s uzávěrovým profilem v Černém Dole. Simulované období zahrnovalo roky 1990-2019. Vstupními daty byly: (1) denní hodnoty meteorologických veličin, (2) mapa půdního pokryvu, (3) digitální model terénu a (4) land cover. Obě povodí byla prostorově diskretizována na hydrotopy, které představují unikátní kombinaci charakteristik topografie, půdního pokryvu. Hydrotopy jsou následně využívány pro výpočet hydrologické bilance zahrnující srážky, výpar, několik druhů odtoku a změnu zásob vody v půdním profilu. Celkem byla obě povodí rozdělena na do 637 hydrotopů. Náchylnost území v dlouhodobým deficitům půdní vláhy byla vyhodnocena pro měsíce srpen-říjen a to tak, že hodnoty denního množství vody zadržované v půdním profilu byly za toto období zprůměrovány a vztaženy k polní vodní kapacitě půdy.

Mapa umožňuje detailně vymezit místa, která jsou z dlouhodobého hlediska náchylnější k půdnímu suchu. Zároveň poukazuje na hlavní faktory, které půdní suchu na území NP Krkonoše determinují. Na základě vyhotovené mapy lze posoudit, zda zvolený způsob hospodaření má vliv na vodní režim území.

Výsledek bude sloužit v první řadě pro potřeby KRNAP jako vstupní podklad pro analýzu příčin rozpadu lesního porostu na vybraných územích. Nedostatek půdní vláhy je totiž jedním z možných důvodů rozpadu lesních porostů v území a popis vláhové bilance půdního profilu tak přispěje k potvrzení nebo vyloučení vlivu tohoto faktoru.

Výsledek bude dále využit Správou NP Krkonoše jako indikátor území, která jsou náchylná k půdnímu suchu. Zároveň bude sloužit jako vstup pro další fázi činnosti, která bude zaměřena na vyhodnocení vlivu změny land cover na vodní bilanci krajiny. Zhotovená mapa představuje referenční stav bez zahrnutí změny využití krajiny.

Konečný název mapy: Náchylnost území v povodí horní Úpy a horní Čisté k dlouhodobým deficitům půdní vláhy

Výsledek Nmap je doložen v Dokumentu prokazujícím dosažení výsledku, který obsahuje informace k doložení požadované (název mapy, popis novosti, informace o rozsahu využití mapy, informace o přínosech mapy pro uživatele, případně seznam odborných podkladů, které výsledku předcházely, pokud nějaké byly).

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

SS05010124-V21 (KEBR)

O – Datová sada biochemických vlastností listoví a struktury lesních porostů

Stav výsledku: dosažen 12/2023

Datová sada biochemických vlastností listoví stromů vzorkovaných v roce 2022 byla zkompleťována do formy .xlsx a bude sloužit pro tvorbu dalších výsledků projektu. Popisné statistiky a předběžné vyhodnocení vybraných indikátorů fyziologického stavu stromů je součástí DPDV V21. Kompletní datová sada jako taková bude podkladem pro impaktovanou publikaci (V23), která vznikne v roce 2024. Z tohoto důvodu nebude nyní datová sada zveřejněna jako kompletní, nýbrž jen formou průměrných hodnot a popisných statistik v DPDV.

Databáze bude dále využita pro indikaci zdravotního stavu stromů a bude sloužit jako vstupní parametry do RTM modelů, kalibraci a validaci DPZ dat a k vyhodnocení aktuálního fyziologického stavu stromů. Datová sada bude dále hodnocena v širším kontextu data budou předmětem odborné publikace, případně podkladem pro sestavení tematických map.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

SS05010124-V24 (CG, KAGIK, KEBR)

Nmap – Mapy indikátorů zdravotního stavu lesních porostů odvozených z DPZ

Stav výsledku: dosažen 12/2023

Tento výsledek se skládá ze 3 specializovaných map pro zájmové povodí horní Úpy a horní Čistě: i) trendu zdravotního stavu lesů v zájmovém povodí 2017–2023 odvozených z družicových dat a ii) biochemických indikátorů aktuálního zdravotního stavu lesů odvozených z hyperspektrálních leteckých dat.

Mapa Trend zdravotního stavu vznikla interpretací časové řady družicových multispektrálních snímků Sentinel-2 ze kterých byl vypočten „disturbance index“ (DI), jehož změna za sledované období byla vyjádřena sklonem regresní přímky pomocí algoritmu Sen's slope. Pozitivní sklon přímky značí růst hodnot DI, což odpovídá zhoršování zdravotního stavu porostu, často spojených s těžebními zásahy či odumírajícími stromy, zatímco negativní sklon poukazuje na oblasti s poklesem DI, tedy oblasti se zlepšujícím se zdravotním stavem lesa.

Biochemické indikátory zdravotního stavu lesních porostů, jmenovitě obsah fotosynteticky aktivních pigmentů – chlorofylu a + b a obsah vody v listoví, zachycují aktuální stav lesních porostů ve vegetační sezóně 2022, kdy byla pořízena hyperspektrální letecká data a pozemní odběry. Pozemní měření obsahu chlorofylu a+b a vody byla agregována na vzorníkové stromy, a tato data byla použita ke kalibraci leteckého hyperspektrálního snímku pomocí metody lineární regrese. Výsledné modely byly následně aplikovány na hyperspektrální snímek, v případě obsahu chlorofylu a+b $R^2 = 0.62$, v případě obsahu vody v listoví $R^2 = 0.59$.

Mapy doloží současný stav i minulé trendy vývoje zdravotního stavu v řešeném území. Budou sloužit jako základní podklad pro hodnocení změn zdravotního stavu v budoucnu a jako podklad pro management lesů KRNAP v souladu s jejich udržitelností.

Výsledek bude předán k využití Správě KRNAP, MŽP a AOPK v elektronické podobě, bude dostupný na webu projektu pro širokou odbornou veřejnost.

Konečné názvy map

1. Trendy zdravotního stavu lesů v povodí horní Úpy a horní Čisté 2017–2023
2. Obsah chlorofylu a+b v lesních porostech v povodí horní Úpy a horní Čisté odvozený z leteckých hyperspektrálních dat
3. Obsah vody v lesních porostech v povodí horní Úpy a horní Čisté odvozený z leteckých hyperspektrálních dat

Výsledky Nmap jsou doloženy v Dokumentu prokazujícím dosažení výsledku, který obsahuje informace k doložení požadované (název mapy, popis novosti, informace o rozsahu využití mapy, informace o přínosech mapy pro uživatele, případně seznam odborných podkladů, které výsledku předcházely, pokud nějaké byly).

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

SS05010124-V27

Nmap – Vývoj klimatických a hydrologických poměrů v povodí horní Úpy a horní Čisté v období 1982-2021

Stav výsledku: dosažen 12/2023

Cílem mapového díla je zobrazit vývoj klimatických a hydrologických charakteristik zájmového území v období 40 let (1982-2021). Jednotlivé mapové výstupy jsou koncipovány pro čtyři dekády, tj. 1982-1991, 1992-2001, 2002-2011 a 2012-2021, které znázorňují vývoj vybraných klimatických a hydrologických proměnných.

Specializovaná mapa názorně dokumentuje vývoj základních klimatických a hydrologických proměnných v zájmovém území. Vývoj analyzovaných klimatických a hydrologických proměnných jednoznačně ukazuje na výjimečnost poslední dekády 2012-21, ve kterém byla zkoumaná horská povodí zasažena meteorologickým suchem z důvodu deficitu srážek a také zvýšeným výparem vlivem nadnormálních teplot vzduchu, což se následně projevilo výrazným poklesem odtoku a dlouhodobějším hydrologickým suchem. Výstupy jsou podkladem pro další analýzy.

Inovativním prvkem mapy je způsob interpolace klimatických proměnných za využití metody reziduální kriging. Tato metoda umožňuje detailnější a přesnější prostorovou analýzu jednotlivých prvků v členitém terénu v rozlišení 500 x 500 metrů. Další inovaci spatřujeme v komplexním zhodnocení vybraných klimatických a hydrologických proměnných a v propojení jednotlivých výsledků dílčích analýz.

Využití této mapy bude především pro správu KRNAP, vodohospodářské instituce a orgány ochrany životního prostředí v daném regionu. V senzitivních horských povodích je vhodné provádět adaptační a mitigační opatření s cílem retence vody. Výsledná mapa, ale i dílčí výstupy jednotlivých analýz budou rovněž využity členy řešitelského týmu. Výsledek bude využit organizacemi zapojenými do řešení projektu jako vstup pro tvorbu dalších výsledků:

- Dílčí metodika hodnocení změn S-O režimu a trendů vybraných hydroklimatických poměrů
- Článek Trendy vybraných hydroklimatických proměnných v modelových horských povodích

Konečným uživatelem bude PŘF UK, Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Správa KRNAP.

Konečný název mapy: Vývoj klimatických a hydrologických poměrů v povodí horní Úpy a horní Čisté v letech 1982–2021

Výsledek Nmap je doložen v Dokumentu prokazujícím dosažení výsledku, který obsahuje informace k doložení požadované (název mapy, popis novosti, informace o rozsahu využití mapy, informace o přínosech mapy pro uživatele, případně seznam odborných podkladů, které výsledku předcházely, pokud nějaké byly).

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v ISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

Závazné výsledky rozpracované

SS05010124-V11

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

Stav výsledku: rozpracován, bude uplatněn do konce trvání projektu

Publikace vyhodnotí změny krajinného pokryvu v zájmovém území ve sledovaném období 40 let na základě výsledků klasifikací družicových dat. Původně byla plánována na rok 2023, ale ještě není dokončena. Je ve fázi manuskriptu, který vychází zejména z výstupu V8 (Soubor datových vrstev popisujících stav krajinného pokryvu ve sledovaných povodích v jednotlivých letech analýzy (výstup analýzy družicových dat), který byl zpracován v roce 2022, ale v průběhu roku 2023 byl ještě validován, upřesňován a byly analyzovány změny i v souvislosti se skutečnými událostmi, které vedly k úbytku/poškození lesů na konkrétních místech.

Důležitým podkladem pro práci na manuskriptu je také výsledek V6 (Dílčí metodika využití družicových dat DPZ pro monitoring změny krajinného pokryvu s důrazem na hodnocení změn lesních porostů), která shrnuje výběr vhodných metod analýzy. Tyto metody budou též součástí manuskriptu. Na publikaci dále pracujeme, analýzy dat a sestavení metodiky si vyžádaly více práce, než jsme původně předpokládali. Odeslání manuskriptu plánujeme na březen 2024.

Další výsledky dosažené v roce 2023 (nad rámec schválených výsledků projektu)

SS05010124-V33

O – Geodatabáze vývoje klimatických a hydrologických proměnných

Stav výsledku: dosažen 09/2023

Cílem byla příprava databáze hydrologických a klimatických proměnných, klimatická a hydrologická charakteristika zájmového území. Základním zdrojem vstupních dat byly homogenizované řady vybraných klimatických a hydrologických proměnných ČHMÚ. Databáze je vstupem pro navazující analýzy vývoje klimatických a hydrologických proměnných a detekci trendů srážko-odtokového režimu.

Pozornost byla věnována grafickému a statistickému vyhodnocení vývoje teplot vzduchu, úhrnů srážek, výšky sněhové pokrývky, počtu dní se sněhovou pokrývkou a detekci změn odtokového režimu. Aplikovány byly statistické testy pro hodnocení trendů vývoje vybraných charakteristik.

Výstupem je klimatická a hydrologická charakteristika povodí horní Úpy a horní Čistě v období 1982-2021. Vývoj analyzovaných klimatických a hydrologických proměnných jednoznačně dokládá nárůst teploty vzduchu ve zkoumaném období, změnu sezonality a variability srážek a následný pokles odtoku, který se projevil výrazným hydrologickým suchem v období 2014-2021.

Inovativním prvkem je testování autokorelace zkoumaných klimatických a hydrologických proměnných. V případě signifikantní míry autokorelace využití modifikované verze Mann-Kendallova testu dle Hamed, Rao (1998).

Databáze sloužila jako podklad pro tvorbu specializované mapy s odborným obsahem vývoje klimatických a hydrologických poměrů zájmového území (V27). Výsledek bude využit dále pro hydrologické modelování, publikace článků a tvorbu metodiky. Využití výstupů vidíme především pro správu KRNAP, vodohospodářské instituce a orgány ochrany životního prostředí v daném regionu. Databáze, ale i dílčí výstupy jednotlivých analýz budou rovněž využity členy řešitelského týmu.

Zdrojová data vývoje klimatických a hydrologických proměnných jsou ve vlastnictví ČHMÚ, z tohoto důvodu je není možno publikovat. Formou DPDV V33 je prezentováno vyhodnocení databáze formou tabulek, grafů a textu.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

SS05010124-V34

JSC – článek/paper Evaluation of the bark beetle green attack detectability in spruce forest from multitemporal multispectral UAV imagery

Stav výsledku: dosažen 12/2023

Článek vznikl nad rámec výsledků původně plánovaných v projektu. Protože se v roce 2022 podařilo nasnímat časovou řadu multispektrálních dat (časová řada zahrnuje 9 termínů místo původně plánovaných 3), tak byla využita k analýze detekce tzv. „zeleného stádia“ napadení lesa kůrovcem. Článek je indexován na WoS a SCOPUS. Článek slouží zejména ke zveřejnění nových poznatků a prezentaci výsledků projektu.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

SS05010124-V35

O – prezentace/presentation Evaluation of the bark beetle green attack detectability in spruce forest from multitemporal multispectral UAV imagery

Stav výsledku: dosažen 09/2023

Prezentace přinesla výsledky zveřejněné v článku (viz výsledek V34 výše). Byla přednesena na mezinárodní konferenci ISPRS Geospatial Week 2023, 2.–7. září 2023, Káhira, Egypt. Prezentace slouží zejména ke zveřejnění nových poznatků a prezentaci výsledků projektu. Byla oceněna jako nejlepší příspěvek sekce “UAV-based mapping Workshop” (<https://gsw2023.com/wp-content/uploads/2023/09/Best%20presentation%20award%20GSW2023.pdf>).

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

SS05010124-V36

O – poster Soil moisture regime under different forest types

Stav výsledku: dosažen 04/2023

Poster byl prezentován na konferenci EGU General Assembly 2023, 23.-28.4.2023, Vídeň. Poster slouží zejména ke zveřejnění nových poznatků a prezentaci výsledků projektu.

Výsledek je zveřejněn prostřednictvím dokumentu prokazujícího dosažení výsledku v SISTA a na webu projektu: <https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

5. Naplňování cílů programu Prostředí pro život a implementace výsledků zpracovaných v roce 2023

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 roce 2023 – datové vrstvy krajinného pokryvu, specializované mapy popisující zdravotní stav lesních porostů, výstupy charakterizující klimatické/hydrologické poměry a náchylnost území k deficitům půdní vláhy, dílčí metodika využití družicových dat pro monitoring změny krajinného pokryvu, datové vrstvy NDVI a LAI pro území Rašelinového potoka, datová sada biochemických vlastností listoví a struktury lesních porostů, geodatabáze vývoje klimatických a hydrologických proměnných a další datové podklady získané v roce 2024 jsou k dispozici Správě KRNAP, která je může začít využívat pro účely efektivního managementu území. Zároveň data získaná v roce 2023 budou využita při zpracování výstupů v roce 2025 – zejména pro hydrologické modelování na dvou prostorových úrovních, dále pro tvorbu dalších specializovaných map a několika publikací a pro vytvoření Aplikace pro automatizované zpracování dat DPZ a zpracování výsledné Metodiky pro monitoring vlivu změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii s využitím DPZ a hydrologického modelování, 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 2023 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 vytvořená dílčí metodika monitoringu land cover jsou využitelné k ochraně lesních společenstev.

Pro každý výsledek byl vytvořen v ISTA implementační plán, který specifikuje jeho využití. Většina výsledků zpracovaných v roce 2023 bude využívána pro další práci na projektu organizacemi, které na řešení projektu spolupracují, a velká část výstupů je už nyní využitelná pro implementaci v KRNAP, případně MŽP a AOPK.

6. Závěr

Projekt byl v roce 2023 řešen v souladu a platnou smlouvu, nastaly pouze drobné změny v úvazcích a nebyly zcela dočerpány finanční prostředky – nedočerpané prostředky budou účelně využity pro další řešení projektu v roce 2024.

Výsledky/výstupy plánované na rok 2023 byly dosaženy v termínu, kromě výsledku V11 (Jimp článek Potenciál volně dostupných družicových dat DPZ pro hodnocení změn krajinného pokryvu). Na tomto výsledku dále pracujeme, analýzy dat si vyžádaly více práce, než jsme původně předpokládali. Výsledek bude uplatněn do konce trvání projektu. Nad rámec smlouvy byla pořízena některá další data (doplňující odběry větví a následně analýzy listoví pro zpřesnění zdravotního stavu stromů na ploše Hydro1, terénní měření indexu listové plochy) tak, že pořízení dat a jejich analýzy nad rámec návrhu projektu nezvýšily náklady projektu. Tato data budou využita pro dokonalejší a přesnější zpracování plánovaných výstupů v roce 2025. Za důležitý výstup v rámci propagace projektu považujeme také prezentace výsledků projektu na dvou mezinárodních konferencích v zahraničí a ocenění jednoho příspěvku.

Úkoly jednotlivých organizací a osob byly průběžně plněny a dobře fungovala spolupráce v týmu i spolupráce s aplikačním garantem – Správou KRNAP. Výstupy byly zveřejněny na webu projektu a poskytnuty aplikačním garantům. Jednak jim byla zaslána Souhrnná zpráva o výsledcích řešení projektu v roce 2023 a též odkaz na webové stránky projektu, kde jsou výsledky zveřejněny (formou přímého přístupu k výsledkům nebo formou dokumentů prokazujících dosažení výsledku). Garanti byli požádáni o zpětnou vazbu.

7. Zdroje

Saito, K., Ogawa, S., Aihara, M., & Otowa, K. 2001. Estimates of LAI for forest management in Okutama. In *Proceedings of the 22nd Asian Conference on Remote Sensing*. Singapore, 5–9 November 2001.

Šimůnek, Jiří, M. Šejna, H. Saito, M. Sakai, M.T. Van Genuchten. 2008. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 4.0. University of California, California.

Healey, S. P., Cohen, W. B., Zhiqiang, Y., Krankina, O. N. (2005). Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote sensing of environment*, 97(3), 301-310.

Huang, C., Goward, S. N., Masek, J. G., Thomas, N., Zhu, Z., Vogelmann, J. E. (2010). An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 183-198.

Kennedy, R. E., Yang, Z., Cohen, W. B. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr—Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2897-2910.

8. Přílohy

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

