



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-V7

**Název výsledku: Vývoj krajinného pokryvu (s důrazem na změny lesních porostů)
zájmového území od 80. let 20. století do současnosti**

Druh výstupu/výsledku: Nmap

Termín dosažení výsledku: 12/2024

Autoři výsledku (jméno/organizace): Markéta Potůčková, Alex Šrollerů, Lucie Červená,
Jakub Lysák, Lucie Kupková / Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy

Cíl/účel vytváření výsledku

Cílem výsledku je zdokumentovat vývoj krajinného pokryvu zájmového území v povodí horní Úpy a horní Čisté na základě klasifikace časové řady družicových dat. Důraz je kladen na rozlišení jednotlivých typů lesa (jehličnatý, listnatý, smíšený) a sukcesní stádia indikující obnovu lesa. Mimo les jsou zahrnuty základní kategorie krajinného pokryvu – vodní plochy, trvalé travní porosty, antropogenní plochy.

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

Mapový výstup vznikl na základě klasifikace a analýzy časové řady družicových multispektrálních snímků Landsat z let 1985 až 2022. Byly použity scény s již provedenou atmosférickou korekcí (úroveň zpracování L2, spektrální odrazivost na zemském povrchu). Jako podpůrná data byla použita ortofota dostupná přes webové mapové služby (WMS) Správy KRNP a Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK). Postup tvorby výsledku sestával z těchto kroků:

1. Předzpracování dat: tvorba bezoblačných mozaik pro dílčí roky v prostředí Google Earth Engine

Bezoblačné mozaiky byly v zájmovém období 1985 až 2022 tvořeny v rámci každé vegetační sezóny (červen–září, pořadí dne v roce 150–270) ze všech dostupných scén Landsat volbou vhodného percentilu (nejčastěji mediánu) validních pixelů (tj. bez oblačnosti nebo stínů oblačnosti). Pokud nebylo možné pro daný rok bezoblačné mozaiky v zájmovém území dosáhnout, byl tento rok vynechán nebo nahrazen dvou či tříletým kompozitem v případě delší než roční mezery v datech. Tímto způsobem bylo v uvedeném období vytvořeno 27 mozaik. Každá výsledná mozaika obsahuje odrazivost na zemském povrchu v šesti původních spektrálních pásmech (B, G, R, NIR a obě SWIR pásma) daného senzoru a vypočtené spektrální indexy vhodné pro sledování stavu vegetace – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDII (Normalised Difference Infrared Index), NBR2 (Normalised Burn Ratio) a hodnoty greenness, brightness a wetness Tasseled Cap transformace. Pro výpočet TC transformace byly použity snímky Landsat obsahující odrazivost na povrchu atmosféry (Crist a Cicone, 1984; Baig et al., 2014). Dále byla každému pixelu přiřazena výška z modelu SRTM. Veškeré zpracování bylo provedeno v prostředí Google Earth Engine. Výsledné rastry byly exportovány ve formátu tif, souřadnicovém systému WGS 84/UTM 33N (kód EPSG 32633).

2. Sestavení klasifikační legendy

Legenda pro klasifikaci byla s ohledem na účel vytvářeného výsledku zvolena, jak ukazuje tabulka 1.

Tabulka 1. Klasifikační legenda

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. Sběr trénovacích a validačních dat pro klasifikaci

Podle dostupnosti pomocných dat byly trénovací množiny vytvářeny vizuální interpretací

- pouze dat Landsat v letech 1985, 1988, 1991 a 1994. V letech 1986, 1990 a 1992 byl přenesen klasifikátor z nejbližšího roku.
- Dat Landsat a existujících ortofot od roku 1997.

Pro roky 2022 a 2018 byl použit normalizovaný digitální model povrchu z dat leteckého laserového skenování pro odlišení mladého lesa (do 5 m, kategorie 340) a vrstva lesních dřevin webové mapové služby ÚHÚL. V roce 2022 navíc proběhlo terénní šetření pro upřesnění některých kategorií (zejména přechodová stadia lesa).

Třída zástavba a komunikace byla vygenerována z Open Street Map a použita pro všechny časové horizonty. Stejně tak třída vodní plochy a toky, kterou ve 30 m prostorovém rozlišení tvoří jen několik pixelů byla zvektorizována nad ortofotem a vložena do výsledné klasifikace.

Vzhledem k časové náročnosti validačního procesu byly validační body sbírány nad ortofoty pouze pro roky 2001, 2010, 2016, 2018 a 2022. Pro každý rok byla nezávisle určena kategorie krajinného pokryvu na 1500 bodech stratifikovaně rozdělených do jednotlivých tříd. V roce 2022 bylo 94 z těchto bodů (zejména třídy přechodová stadia lesa, listnatý a smíšený les) ověřeno v terénu.

4. Klasifikace družicových snímků a postklasifikační úpravy

Řízená klasifikace 27 předzpracovaných rastrových datasetů byla provedena algoritmem „Random Trees“ v prostředí ArcGIS Desktop v10. V rámci postklasifikačních úprav byl redukován šum s využitím majoritního filtru a dále byly odstraněny nereálné změny krajinného pokryvu v rámci časové řady. Oba procesy byly naskriptovány v jazyce Python. Na základě validačních bodů bylo spočteno F1 skóre pro dílčí třídy a celková přesnost klasifikace v letech 2001, 2010, 2016, 2018 a 2022.

5. Výpočet indexu disturbance (DI) a integrated forest Z-score (IFZ)

Pro hodnocení změn a míry poškození lesa byl spočítán index disturbance (DI, Healey et al., 2005) a „integrated forest z-score“ (IFZ, Huang et al., 2010).

Pro výpočet DI byla provedena transformace Tasseled cap a hodnoty jasu (B), zeleně (G) a vlhkosti (W) byly normovány pomocí průměru a směrodatné odchylky těchto hodnot v pixelech odpovídajících lesním porostům.

$$DI = B_r - (G_r + W_r)$$

kde B_r , G_r a W_r jsou normované hodnoty komponent Tasseled cap transformace. DI vychází z předpokladu, že nedávno vykácený nebo degradující les vykazuje vysoký jas a nízké hodnoty zeleně a vlhkosti ve vztahu ke zdravému nebo obnovujícímu se lesu. Z trendu DI (tj. hodnota směrnice regresní přímky) v daném časovém úseku lze sledovat vývoj celkového stavu lesního porostu.

IFZ se odvozuje z normovaných hodnot odrazivosti v červeném (R) a středních infračervených pásmech (SWIR1 a SWIR 2) dle vztahů

$$FZ_i = \frac{b_i - \bar{b}_i}{SD_i} \quad IFZ = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^3 FZ_k^2}{3}}$$

kde hodnoty \bar{b}_i a SD_i představují průměr a směrodatnou odchylku odrazivosti pixelů odpovídajících lesnímu porostu. Dle Huang et al. (2010) lesní porosty v časové řadě vykazují hodnoty IFZ < 3. Nárůst IFZ nad tuto prahovou hodnotu indikuje odlesnění.

IFZ a DI byly vypočteny pro všechny časové horizonty pomocí skriptu pro MATLAB. Pro normalizaci byly využity hodnoty pixelů spadajících do tříd nepoškozeného vzrostlého lesa (jehličnatý, listnatý, smíšený) a kosodřeviny (tj. třídy 310, 320, 330, 400) dle klasifikace popsané výše.

Podrobný popis použité metodiky přípravy, zpracování a analýzy dat lze nalézt ve výstupu projektu V6 „Dílčí metodika využití družicových dat DPZ pro monitoring změny krajinného pokryvu s důrazem na hodnocení změn lesních porostů“.

Použitá literatura pro metodiku:

Baig, M. H. A., Zhang, L., Shuai, T., Tong, Q. (2014). Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5(5), 423-431.

Crist, E. P., Cicone, R. C. (1984). A physically-based transformation of Thematic Mapper data---The TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, (3), 256-263.

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.

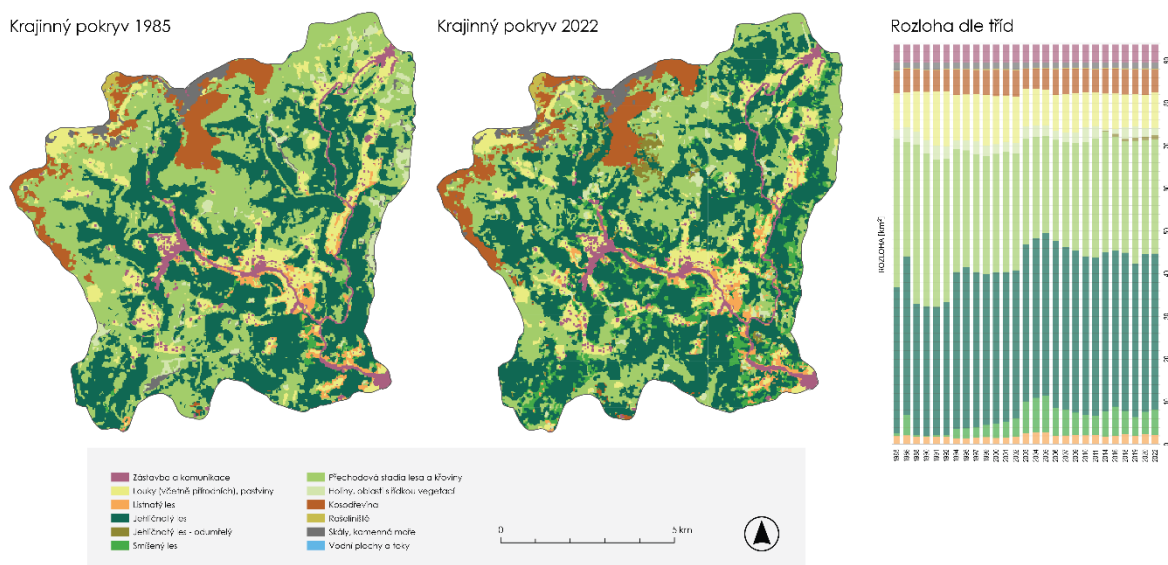
Prezentace výsledku (popis, obrázky, grafy apod.)

Mapové pole specializované mapy „Vývoj krajinného pokryvu (s důrazem na změny lesních porostů) zájmového území od 80. let 20. století do současnosti“ sestává z následujících částí:

A) Krajinný pokryv 1985 a 2022

Mapy ukazují prostorové rozmístění tříd krajinného pokryvu dle dané legendy (viz obrázek 1). Data byly získána klasifikací snímků Landsat 5 (1985) a Landsat 8 (2022) dle metodiky použité výše. Mapy krajinného pokryvu z dalších časových horizontů jsou k dispozici na webových stránkách projektu <https://www.lucc4hydro.cz/>

Obrázek 1. Mapy krajinného pokryvu na základě klasifikací dat Landsat 5 (1985) a Landsat 8 (2022) a vývoj plochy klasifikovaných tříd mezi lety 1985 a 2022.



B) Rozloha dle tříd

Graf vyjadřuje plochu dílčích tříd krajinného pokryvu na základě klasifikace časové řady snímků Landsat mezi lety 1985 a 2022, viz obrázek 1.

C) Stabilní plochy v letech 1985 až 2022

Mapa je na obrázku 2 a představuje prostorové rozložení pixelů s nezměněnou kategorií krajinného pokryvu v rámci celé časové řady.

Obrázek 2. Ukázka úbytku lesních ploch mezi lety 2006 a 2010 (vlevo). Mapa stabilních ploch krajinného pokryvu lety 1985 a 2022 (vpravo).

Ukázka změny krajinného pokryvu v k.ú. Horní Malá Úpa

detekovaný úbytek lesa
mezi lety 2006–2010
(Landsat)



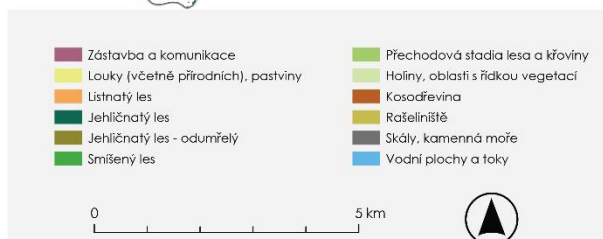
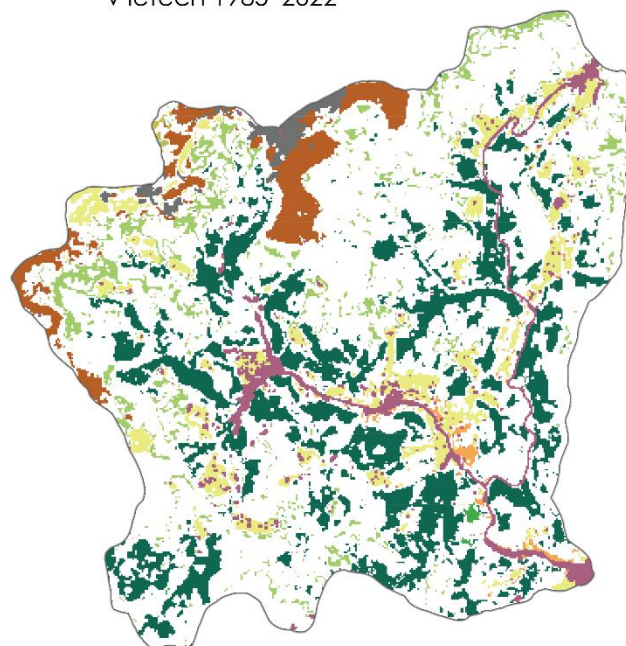
ortofoto 2006



ortofoto 2010



Stabilní plochy v letech 1985–2022



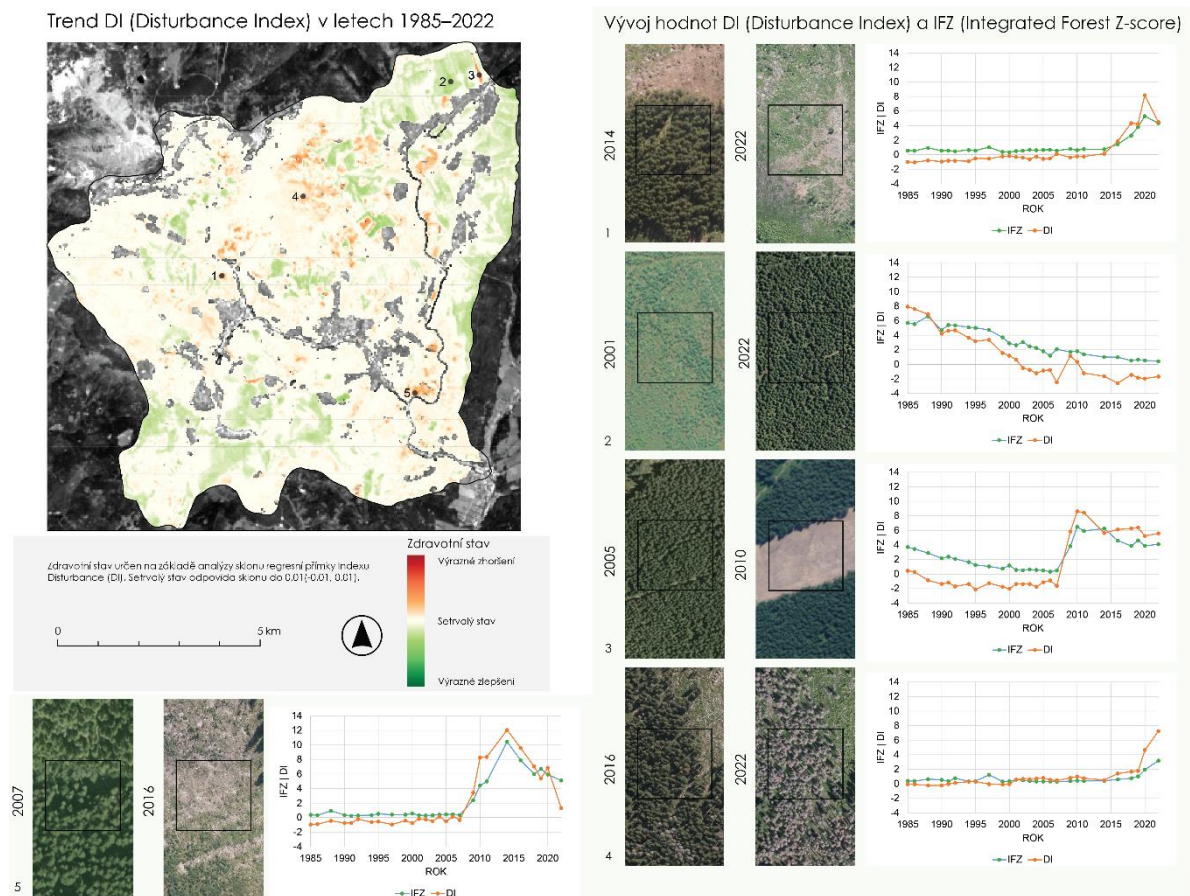
D) Ukázka změny krajinného pokryvu v k.ú. Horní Malá Úpa

Součástí vytvořené specializované 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 (též obrázek 2). Pro porovnání je družicový snímek s vyznačenými změnovými plochami doplněn leteckými ortofoty z týchž let.

E) Mapa trendu indexu disturbance mezi lety 1985 a 2022

Mapa ukazuje hodnotu směrnice regresní přímky časové řady indexu disturbance mezi lety 1985 a 2022 (obrázek 3).

Obrázek 3. Trend DI a vybrané ukázky změn lesního porostu a možnost detekce těchto změn v časové řadě DI a IFZ.



F) Vývoj hodnot indexu disturbance (DI) a integrated forest Z-score (IFZ)

Tato část mapového pole (viz též obrázek 3) zobrazuje pět ukávek vývoje hodnot DI a IFZ. Degradace lesního porostu je dokumentována na příkladech 1, 3 (odlesnění) a 3 (odumření lesa z důvodu napadení kůrovcem). Příklad 2 je naopak ukávkou zhušťování lesního porostu. Poslední příklad (5) je ukávkou odlesnění (nejhorší skóre Di a IFZ v roce 2010) a následného zarůstání plochy (pokles hodnot DI a IFZ). Prostorové umístění vybraných příkladů je znázorněno v mapě trendu DI.

Vyhodnocení výsledku (základní zjištění, přínos, případně využití)

Z porovnání map krajinného pokryvu v letech 1985 a 2022, tj. počátečním a koncovém roce sledovaného období, je patrný nárůst plochy jehličnatého a smíšeného lesa na úkor přechodových stádií. V roce 2022 jsou zvýrazněna místa degradujícího či již odumřelého lesa v důsledku kůrovcové kalamity.

Z grafu rozlohy tříd krajinného pokryvu 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. Výrazný nárůst podílu smíšeného lesa v letech 2003 až 2006 je třeba chápat v kontextu přesnosti

klasifikace, kdy F1 skóre této kategorie je obecně nejnižší (40 až 60 %) a dochází k časté záměně s ostatními kategoriemi lesa.

Stabilní lochy dle provedené klasifikace představují pixely s nezměněnou kategorií v rámci celé časové řady. Stabilní plochy představují 37,4 % plochy zájmového území. Podíl výskytu nezměněných lesních kategorií v celé ploše sledovaných povodí je následující: listnatý les 0,5 %, smíšený les 0,1 %, jehličnatý les 17,7 %, přechodová stadia lesa 4,8 %.

Z hlediska vývoje stavu lesa je zásadní výstup trendu indexu disturbance. Výrazné kladné hodnoty ukazují na místa degradace lesního porostu či odlesnění. Naopak záporné hodnoty označují místa zlepšení stavu lesního porostu. Mapa tak může sloužit k definici hotspotů pro další analýzy, jak naznačuje pět vybraných ukázek v pravé části specializované mapy.

Doložení výsledku Nmap

Název specializované mapy: Vývoj krajinného pokryvu (s důrazem na změny lesních porostů) zájmového území od 80. let 20. století do současnosti

Popis novosti mapy: Mapa vznikla na základě provedené klasifikace a analýzy časové řady bezoblačných mozaik multispektrálních snímků Landsat z období 1985–2022, vypočtených hodnot „integrated forest Z-score“ (IFZ), indexu disturbance (DI) a jeho trendu.

Rozsah mapy: Mapa pokrývá zájmové území povodí horní Úpy a horní Čistý. Sleduje vývoj krajinného pokryvu se zaměřením na lesní plochy a jejich změny v období 1985–2022.

Využití mapy a přínosy pro uživatele: Hlavní využití je pro Správu KRNAP pro plošné zhodnocení výskytu stabilních a změněných lesních ploch jak kvalitativně, tak kvantitativně (rozloha dílčích kategorií v čase). Na základě trendu indexu disturbance lze určit místa, kde již došlo k poškození, resp. místa, která jsou náchylná k poškození lesa. Vybraných pět hotspotů ukazuje, jak DI a IFZ reagují na degradaci lesního porostu (1, 3-5) či jeho obnovu (2).

Dostupnost výsledku:

Výsledek je volně dostupný zde: <https://www.lucc4hydro.cz/2024-2/>