

Spektrální projev vybraných dřevin v kontextu klimatické změny

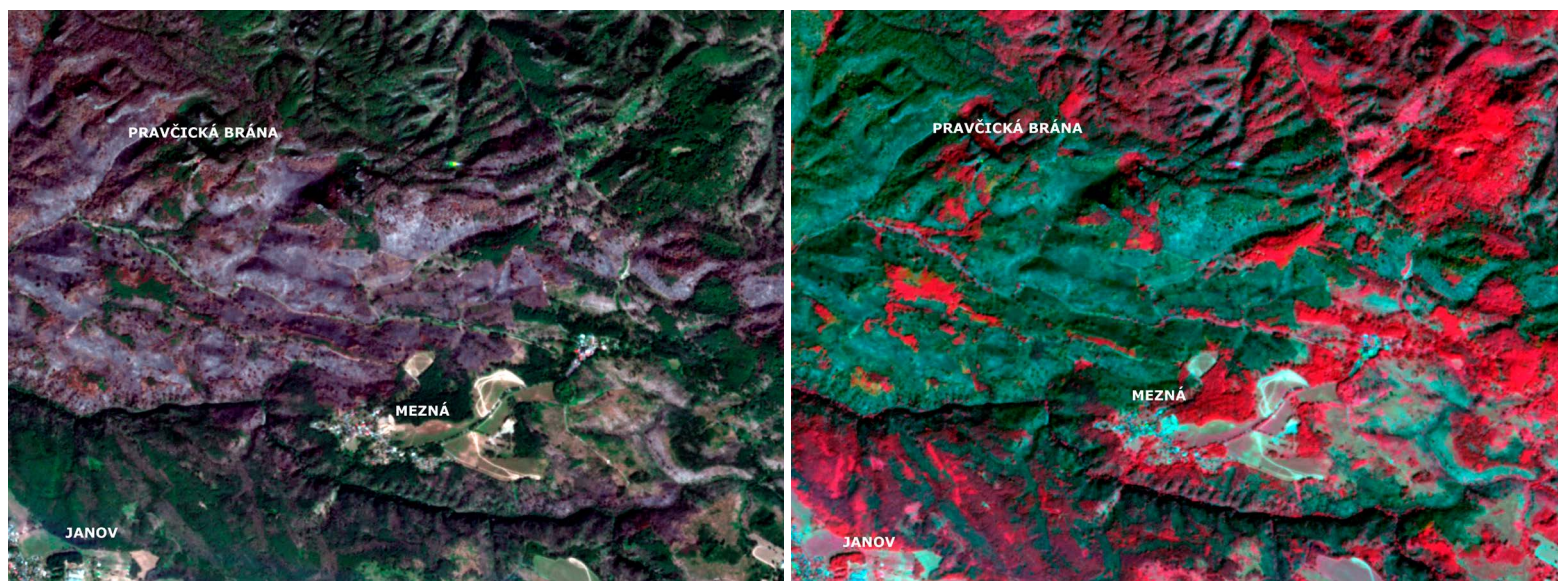
Mikuláš Čapla, Jan Komárek

Téměř každý materiál či objekt určitým způsobem interaguje se slunečním zářením, různou měrou jej propouští, pohlcuje či odráží. Právě podíl odraženého záření (*reflektance*) představuje základní stavební kámen pasivního (optického) dálkového průzkumu Země (DPZ). Znalost elektromagnetických vlastností látek a jejich okolí umožňuje z naměřených hodnot odrazivosti určit,

o jakou látku se jedná a v jakém je stavu. Spektrometrie aplikovaná v kombinaci s bezpilotními prostředky nalézá v oblasti ekologie a ochrany přírody stále větší využití. Sledování stavu vegetace přináší porozumění současným procesům v kontextu probíhajících klimatických změn, které mají stěžejní vliv na zemědělskou a lesnickou produkci.



Obr. 1 Lesní porost na území PP Housle v infračerveném zobrazení (srpen, 2021).



Obr. 2 Spáleniště v Národním parku České Švýcarsko u obce Mezná (srpen 2022). Satelitní snímek PlanetScope v pravých barvách (vlevo) a s využitím NIR (vpravo).

Základní principy optického DPZ

Elektromagnetické záření lze kategorizovat v závislosti na vlnové délce či frekvenci. Úzká část spektra (400–700 nm) rozeznatelná lidským okem bývá označována jako viditelné záření (VIS). Pro DPZ má zásadní význam, jedná se totiž o jedinou spektrální oblast, která může být spojována s pojmem barvy. Klíčovou roli při detekci vegetace (obr. 2) a zkoumání jejího stavu (obr. 1) hraje také NIR – blízké infračervené záření. Jde o část spektra v rozsahu přibližně 750–1400 nm. Přestože je NIR lidskému oku neviditelné, dokážeme ho detekovat pomocí speciálních optických senzorů.

Jedním z faktorů ovlivňujících optické chování vegetace je vnitřní struktura listu. Síla mezofyllové vrstvy spojená s dalšími vlastnostmi (např. mocnost listu) může ovlivnit míru rozptylu záření uvnitř listu, propustnost listem a vyšší absorpci v některých vlnových délkách. Na NIR rostliny reagují odlišným způsobem než na VIS. Díky větší vlnové délce dokáže proniknout hlouběji do vnitřní struktury listu, která působí jako jeho rozptylovač.

Důležitou roli v odrazivosti hrají také biochemické vlastnosti spojené zejména s obsahem fotosyntetických pigmentů. U vyšších rostlin jsou rozlišovány dvě hlavní skupiny: chlorofyly a karotenoidy. Chlorofyly představují nezbytný prvek procesu fotosyntézy. Jako jediný pigment

mají schopnost účastnit se reakce přeměny světelné energie na chemickou. Podstata karotenoidů spočívá ve zbavování se přebytečné světelné energie, která by jinak mohla narušit fotosyntetický aparát.

Během procesu fotosyntézy jsou rostlinou využity pouze některé vlnové délky slunečního záření. Schopnost pohlcovat a odrážet záření o konkrétní vlnové délce se napříč pigmenty liší. Záření, které pigmenty nejsou schopné absorbovat, je odraženo a lidským okem vnímáno jako konkrétní barva. Chlorofyly absorbují fotony hlavně modré a červené části viditelného spektra, které dokážou využít pro fotosyntézu. Oblast zeleného záření naopak odrážejí, a proto se nám rostliny většinou jeví právě v této barvě.

Poměr obsažených pigmentů v listech se během roku mění. Zejména v období fenologického podzimu dochází k řadě fyziologických procesů. Dominantní chlorofyl je za účelem uchování cenných živin odbouráván a ostatní pigmenty, jako např. karotenoidy, tak dostávají možnost se projevit. Karotenoidy absorbují nejvíce záření v modrém a fialovém pásmu, naopak odrážejí a propouštějí světlo zelené, žluté, oranžové a červené. Z tohoto důvodu se podzimní listí našemu oku jeví v různorodých, žlutých až oranžových odstínech. Jehličnany v tomto ohledu tvoří výjimku, většina z nich je stálezelená a neopadáva. Jehlice jsou pokryty tuhým voskovou vrstvou, díky které jsou schopné vydržet i drsné zimní podmínky. Kompaktnost a tvar jehlic ve spojení s ochrannou vrstvou

přispívají k nižší odrazivosti NIR ve srovnání s širokolistými rostlinami.

Stanovení spektrálních vlastností

Naším záměrem bylo pořídit sérii spektrálních záznamů, zachycující vývoj vybraných stromů během vegetační sezony. Pro výzkum jsme použili bezpilotní letoun senseFly eBee X (obr. 3) nesoucí multispektrální kameru MicaSense RedEdge-MX¹. Sběr dat byl naplánován do celkem pěti letových misí v květnu, červnu, srpnu, září a listopadu 2021. Jednotlivé nálety dělily zhruba 1,5 měsíce dlouhé intervaly, představující dostatečně dlouhou dobu pro pozorování fenologických změn. Z každého náletu pak vznikla samostatná ortofotomozaika v rozlišení 10 cm/pix (obr. 4).

K pozorování jsme vybrali pět druhů stromů, které se na lokalitě vyskytují v dostatečném množství a zároveň jsou snadno detekovatelné ze vzduchu. Jednalo se o tři listnáče a dva jehličnany: javor klen (*Acer pseudoplatanus*), dub letní (*Quercus robur*), habr obecný (*Carpinus betulus*), smrk ztepilý (*Picea abies*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Od každého druhu se pak stanovilo 20 pokusných vzorků. Za použití GIS nástrojů byl nad středem

1 MicaSense RedEdge-MX je precizní multispektrální senzor schopný snímat v pěti spektrálních pásmech: modré (475 nm), zelené (560 nm), červené (668 nm), červené okrajové (717 nm), NIR (840 nm).



Obr. 3 Bezpilotní letoun senseFly eBee X

koruny jednotlivých vzorků vytvořen kruhový polygon o poloměru 1 m. Do každé plošky se tedy vešlo přibližně 300 px. Převládající světelné podmínky se napříč nálety velmi lišily, proto i kvalita snímků byla různá. Některé části snímků s nadměrným zastíněním bylo nutné, kvůli potenciálně negativnímu ovlivnění výsledků, z výpočtu vyřadit.

Všechny pixely obsahovaly pět hodnot odrazivosti po jednotlivých pásmech. Pro každou

vzorkovou plošku zvlášť byl po jednotlivých pásmech spočítán medián těchto hodnot. Mediány byly následně zprůměrovány po jednotlivých pásmech pro každý druh stromu v konkrétních měsících. Finální výstup tvořilo pět grafů, z nichž každý obsahoval spektrální křivky všech stromů pro dané období (graf 1).

Sezonní vývoj byl značně dynamický a napříč druhy odlišný. Předpokládané schéma vegetační



Obr. 4 Výsledná ortofotomozaika zájmové oblasti (PP Housle a okolí), srpen 2021 (RGB zobrazení).

křivky se během roku opakovalo v různých variacích. Pouze v listopadu byly zjištěny anomálie u všech tří listnáčů, naměřené hodnoty odpovídaly spíše větvím, spadnému listí a hlíně. Poslední nálet totiž proběhl, z důvodu panujících nepříznivých světelných podmínek, až 24. 11., tedy v době, kdy se fenologický podzim již chýlil ke konci a listí v korunách nezbývalo mnoho. Lehce atypické křivky si lze všimnout také u květnového dubu, kde odrazivost v NIR byla nižší než u jehličnanů a křivka je oproti ostatním celkově plošší. Příčinou je opět míra olistění, které v době prvního náletu (10. 5.) nebylo u dubů na zkoumané lokalitě ještě plně vyvinuté. Poměrně konzistentní vývoj napříč sezonou vyšel u obou neopadavých jehličnanů.

Potvrdilo se, že chlorofyly pohlcují sluneční záření v modré a červené části spektra, zatímco zelené a NIR výrazněji odrážejí. Z výsledků je též na první pohled patrné, že na NIR reagují stromy odlišným způsobem než na VIS. Vyšší odrazivost bylo možné pozorovat už v červeném okrajovém pásmu, maxima pak všechny křivky dosáhly v NIR. V této části spektra také docházelo k nejmarkantnějším mezidruhovým odlišnostem, přičemž hodnoty jehličnanů zde byly zpravidla nižší než u listnáčů. Zejména v červnu a srpnu je možné je na první pohled rozlišit díky odlišné dynamice růstu mezi červenou oblastí a NIR. U borovice lesní byla ve všech pásmech napříč sezonou (kromě červeného v listopadu) zjištěna vyšší odrazivost než u smrku. Borovice je zároveň jediným stromem, kde maximum odrazivosti v NIR nebylo naměřeno v srpnu, nýbrž v září. U ostatních dřevin byl zaznamenán nárůst od května do srpna, poté následoval pokles. Odrazivost modré a červené části spektra klesla na minimum uprostřed sezony. Přesný opak lze sledovat u zeleného pásma a NIR. Na jaře dosahovala nižších hodnot, koncem června rostla, v polovině srpna byla na vrcholu a na podzim se opět snížila.

Vývoj vegetačního indexu

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) je v současné době nejvyužívanějším vegetačním indexem. Indikuje množství zelené vegetace, je citlivý na obsah chlorofylu, koresponduje s množstvím biomasy, nabývá hodnot od -1 do 1. Hodnoty blízké se +1 odpovídají velmi husté vegetaci, zatímco hodnoty kolem 0 vypovídají o její nepřítomnosti. Nejčastěji je využíván k mapování zdravotního stavu vegetace, indikaci změn klimatu, odhadům výnosů zemědělských plodin atd. Výpočet NDVI spočívá v poměru rozdílu a součtu pásem NIR a červeného (rovnice 1).

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Rovnice 1 Normalized difference vegetation index (NDVI)

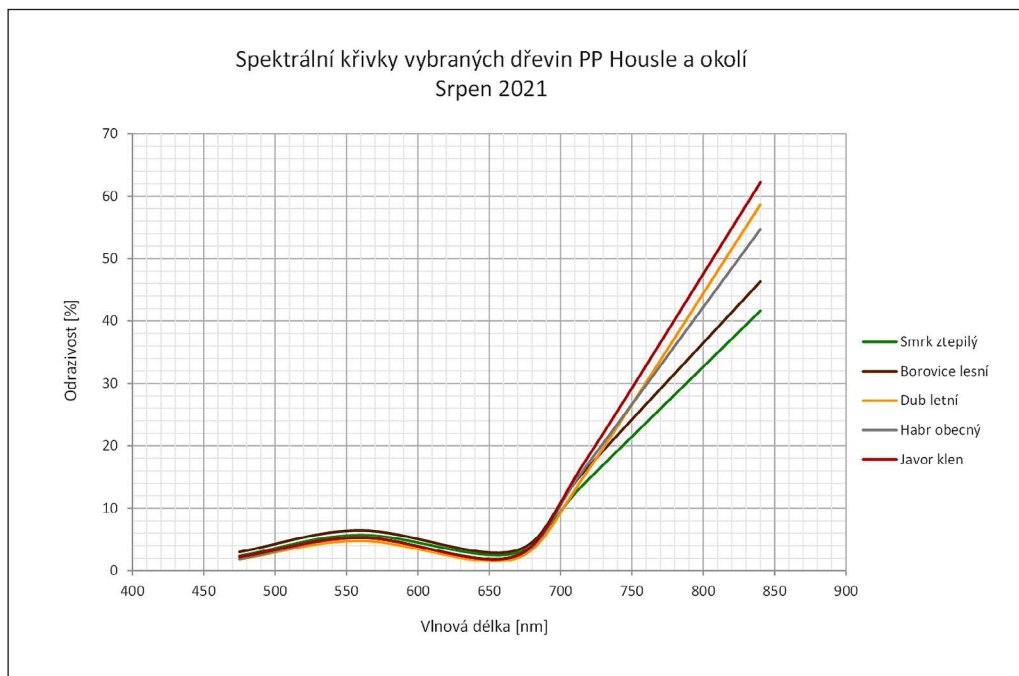
NDVI bylo použito jako prostředek pro sledování vývoje spektrálních vlastností z dalšího úhlu pohledu. U listnatých stromů byl zaznamenán podstatně dynamičtější průběh než u jehličnanů, kde se hodnoty pohybovaly v rozmezí 0,77–0,88 a nedošlo k nikterak dramatickým odchylkám (graf 2).

Veškeré grafické výstupy práce si můžete prohlédnout zde: <https://create.piktochart.com/output/58590564-my-visual> (viz QR kód):

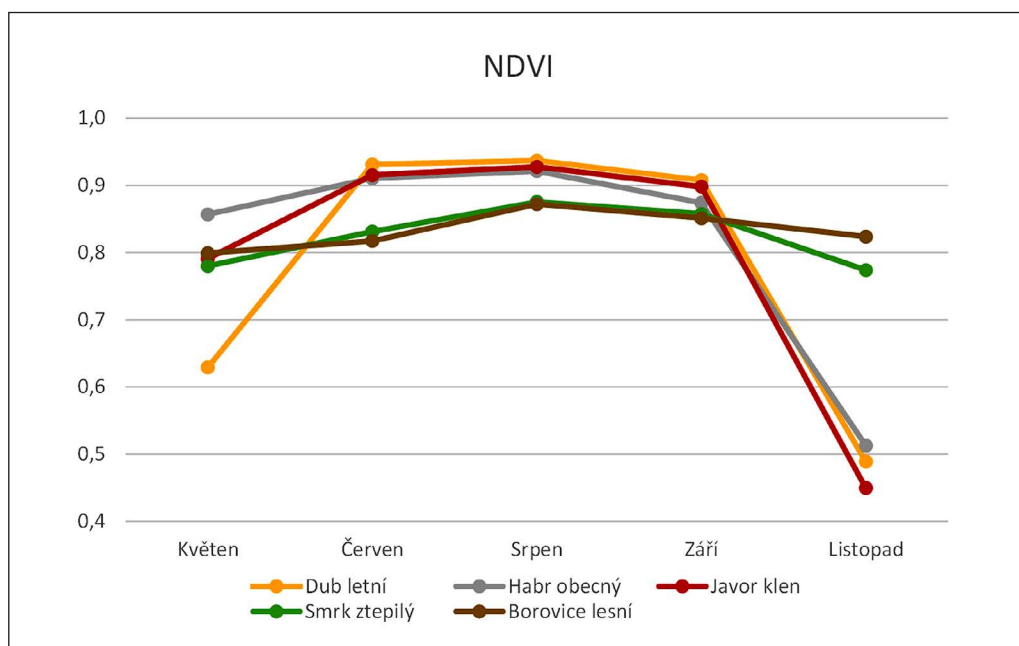


Poznatky a jejich využití v praxi

Výsledky studie prokázaly, že spektrální odrazivost různých druhů stromů je odlišná a během roku se dynamicky mění. I přes snahu o optimalizaci metodiky za účelem minimalizace chyb způsobených vnějšími vlivy je třeba brát výsledky s lehkou rezervou. Kvalitu pořízených dat může ovlivnit řada proměnných, jako např. geometrie koruny stromu, optické vlastnosti pozadí, výška slunce na obloze atd. S přihlédnutím na způsob pořízení dat nelze výsledné absolutní spektrální hodnoty vnímat jako stoprocentně přesné. Podstatný je však jejich relativní průběh. Větší váhu by výzkumu dodala podpora v podobě pozemní spektrometrie a také sledování vývoje v dlouhodobém horizontu. Zajímavé



Graf 1 Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (srpen 2021)



Graf 2 Vývoj NDVI zájmových dřevin v průběhu vegetační sezony 2021.

poznatky by také přineslo užší propojení s dendrologií či meteorologií.

Z ekologického hlediska má spektroskopie významný potenciál zejména v kontextu čelení současným klimatickým změnám. Jedná se o velmi efektivní nástroj schopný plošně a rychle monitorovat rozsáhlá území. Dálkový průzkum sleduje dlouhodobé trendy a zaměřuje se na řadu jevů v životním prostředí.

Jeho zásadní přínos se prokázal zejména v oblasti monitoringu sucha, napadení vegetace škůdci či hodnocení kvality povrchových vod. Nemusí se nutně jednat o oblast dronů, rozsáhlá území na úrovni států a kontinentů jsou již desítky let monitorována z vesmíru pomocí satelitních senzorů. Spektroskopie je tedy široce využitelným nástrojem pomáhajícím rozklíčovat odehrávající se změny na mnoha úrovních.