**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra prostorových věd**

# Bakalářská práce

## Mapování vývoje spektrálního projevu vybraných dřevin během vegetačního období

**Autor: Mikuláš Čapla**

**Vedoucí práce: Ing. Jan Komárek, Ph.D.**

**© 2022 ČZU v Praze**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ing. Mikuláš Čapla

Geografické informační systémy a dálkový průzkum Země v životním prostředí

Název práce

**Mapování vývoje spektrálního projevu vybraných dřevin během vegetačního období**

Název anglicky

**Mapping the development of spectral characteristics of selected tree species during the growing season**

---

**Cíle práce**

Cílem práce je popsat a porovnat spektrální projev vybraných druhů dřevin napříč jedním vegetačním obdobím. Cílem je charakterizovat vývoj spektrální křivky jednotlivých druhů a určit mezidruhové rozdíly hodnot relativní spektrální odrazivosti.

**Metodika**

Autor zpracuje literární rešerši na téma využití bezpilotních prostředků v environmentální vědách se zaměřením na mapování spektrálního projevu vegetace. Autor provede sérii náletů vybraného území a pořídí multispektrální snímky vegetace během jednoho vegetačního období. Stereofotogrammetrickými metodami převede letecké snímky do podoby ortorektifikované mozaiky. Poté pomocí GIS analýz a vhodných statistických nástrojů udělá databázi spektrálních hodnot pro zvolené druhy dřevin. Výsledky vhodně popíše, vizualizuje a interpretuje, stanoví odpovídající závěry.

**Doporučený rozsah práce**

30-50 stran

**Klíčová slova**

dálkový průzkum Země, reflektance, spektrální charakteristika, UAV, fenofáze, druhy stromů

---

**Doporučené zdroje informací**


Abdollahnejad, A., Panagiotidis, D., & Surový, P. (2018). Estimation and extrapolation of tree parameters using spectral correlation between UAV and Pléiades data. Forests, 9(2), 85.

Fawcett, D., Panigada, C., Tagliabue, G., Boschetti, M., Celesti, M., Evdokimov, A., ... & Anderson, K. (2020). Multi-scale evaluation of drone-based multispectral surface reflectance and vegetation indices in operational conditions. Remote sensing, 12(3), 514.

Kaneko, K., & Nohara, S. (2014). Review of effective vegetation mapping using the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) method. Journal of Geographic Information System, 6(06), 733.

Senthilnath, J., Kandukuri, M., Dokania, A., & Ramesh, K. N. (2017). Application of UAV imaging platform for vegetation analysis based on spectral-spatial methods. Computers and Electronics in Agriculture, 140, 8-24.

Stow, D., Nichol, C. J., Wade, T., Assmann, J. J., Simpson, G., & Helfter, C. (2019). Illumination geometry and flying height influence surface reflectance and NDVI derived from multispectral UAS imagery. Drones, 3(3), 55.

Tmušić, Goran, et al. "Current practices in UAS-based environmental monitoring." Remote Sensing 12.6 (2020): 1001.

Torres-Sánchez, J., Pena, J. M., de Castro, A. I., & López-Granados, F. (2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. Computers and Electronics in Agriculture, 103, 104-113.

Weil, G., Lensky, I. M., Resheff, Y. S., & Levin, N. (2017). Optimizing the timing of unmanned aerial vehicle image acquisition for applied mapping of woody vegetation species using feature selection. Remote Sensing, 9(11), 1130.

Xie, Y., Sha, Z., & Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. Journal of plant ecology, 1(1), 9-23.


---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – FZP

**Vedoucí práce**

Ing. Jan Komárek, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra prostorových věd

**Konzultant**

Ing. Tomáš Klouček, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2022

**doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.**

**Vedoucí katedry**

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2022

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

**Děkan**

V Praze dne 23. 03. 2022

**Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *„Mapování vývoje spektrálního projevu vybraných dřevin během vegetačního období“* vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 31.3.2022 _____

**Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Janu Komárkovi, Ph.D. za odborné vedení práce a vstřícný přístup. Poděkování patří také konzultantovi Ing. Tomáši Kloučkovi, Ph.D. za pomoc při zpracování dat.

# Mapování vývoje spektrálního projevu vybraných dřevin během vegetačního období


## Abstrakt

Spektrální odrazivost je v pasivním dálkovém průzkumu Země základním stavebním kamenem. Schopnost vegetace odrážet či naopak pohlcovat sluneční záření závisí na mnoha faktorech, mezi nejzásadnější patří obsažený poměr fotosyntetických pigmentů a fyziologická a morfologická stavba listu. Tato práce si kladla za cíl popsat a porovnat spektrální projev vybraných druhů dřevin napříč jedním vegetačním obdobím. Výzkum byl zaměřen na území PP Housle a blízké okolí v rámci vegetační sezóny 2021. Sběr dat proběhl v pěti letových misích v 1,5 měsíce dlouhých intervalech, za použití bezpilotního letounu eBee X s multispektrální kamerou MicaSense RedEdge-MX. Zkoumán byl spektrální projev pěti druhů stromů: javor klen (*Acer pseudoplatanus*), dub letní (*Quercus robus*), habr obecný (*Carpinus betulus*), smrk ztepilý (*Picea abies*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris)*. S každým náletem vznikla zpracovaná ortofotomozaika čítající pět spektrálních pásmem (B, G, R, RE, NIR). Výsledky nasvědčovaly znatelně dynamickému vývoji, téměř všechny vynesené křivky odpovídaly typickému průběhu vegetace. Největší rozdíly mezi dřevinami se projevily u odrazivosti v pásmu NIR, kde byl společně s GREEN až do srpna zaznamenán nárůst, od srpna dále následoval pokles. Nižší hodnoty odrazivosti v BLUE a RED byly zjištěny uprostřed sezóny. Zřetelně se projevily spektrální rozdíly mezi listnatými a jehličnatými stromy, u jehličnanů byla odrazivost NIR většinou výrazně nižší. Tomu odpovídal sezónní vývoj NDVI, který potvrdil podstatně dynamičtější průběh odrazivosti u listnatých stromů.



**Klíčová slova:** Dálkový průzkum Země; reflektance; spektrální charakteristika; UAV; druhy stromů

# Mapping the development of spectral characteristics of selected tree species during the growing season


## Abstract

Spectral reflectance is a cornerstone in passive remote sensing. The ability of vegetation to reflect or absorb solar radiation depends on many factors. The most crucial one is the proportion of photosynthetic pigments and physiological and morphological leaf structure. This thesis aims to describe and compare the spectral characteristics of selected tree species during one growing season. The research was focused on the territory of the natural monument Housle and the surrounding area within the growing season of 2021. Data collection took place in five flight missions at 1,5 month intervals, using the eBee X drone with the MicaSense RedEdge-MX multispectral camera. The spectral characteristics of three deciduous trees and two conifers were studied: sycamore maple (*Acer pseudoplatanus*), common oak (*Quercus robus*), common hornbeam (*Carpinus betulus*), Norway spruce (*Picea abies*), and Scots pine (*Pinus sylvestris*). The output of each mission was a processed orthophotomosaic containing five spectral bands (B, G, R, RE, NIR). The results indicated a noticeable dynamic development, almost all plotted curves corresponded to a typical course of vegetation. The key differences between trees manifested themselves in the reflectivity in the NIR band. Together with GREEN, there was detected an increase until August which was later on followed by a decrease. Lower reflectance values in BLUE and RED were found in the middle of the season. The spectral differences between deciduous and coniferous trees were clearly evident. For conifers, the NIR reflectivity was mostly significantly lower. This was in accordance with the seasonal development of the NDVI which confirmed a much more dynamic course of reflectivity in deciduous trees.



**Keywords**: Remote sensing; reflectance; spectral characteristics; UAV; tree species

# Obsah


**1 Úvod ... 10**

**2 Cíle práce ... 10**

**3 Literární rešerše ... 11**

3.1 Principy optického DPZ ... 11

3.1.1 Elektromagnetické záření ... 11

3.2 Spektrální vlastnosti vegetace ... 15

3.2.1 Struktura listu ... 15

3.2.2 Rostlinná barviva ... 18

3.3 Fenologie zájmových dřevin ... 21

3.3.1 Pojem fenologie ... 21

3.3.2 Fenologické fáze ... 22

3.3.3 Fenologické roční období ... 23

3.3.4 Zájmové dřeviny ... 25

**4 Metodika ... 28**

4.1 Lokalizace zájmového území ... 28

4.2 Přírodní charakteristika území ... 29

4.2.1 Flora ... 29

4.2.2 Fauna ... 31

4.2.3 Geologie ... 32

4.2.4 Pedologie ... 33

4.2.5 Klima ... 33

4.3 Sběr a zpracování dat ... 33

4.3.1 Technika pro sběr dat ... 33

4.3.2 Průběh sběru a zpracování dat ... 35

4.3.3 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ... 38

**5 Výsledky ... 39**

5.1 Meteorologické podmínky ... 39

5.2 Spektrální křivky podle jednotlivých náletů ... 41

5.2.1 Nálet č.1 (Květen) ... 41

5.2.2 Nálet č. 2 (Červen) ... 42

5.2.3 Nálet č. 3 (Srpen) ... 43

5.2.4 Nálet č. 4 (Září) ... 44

5.2.5 Nálet č. 5 (Listopad) ... 45

5.3 Spektrální křivky podle jednotlivých stromů ... 46

5.3.1 Spektrální křivky dubu letního ... 46

5.3.2 Spektrální křivky javoru klenu ... 47

5.3.3 Spektrální křivky habru obecného ..... 48
5.3.4 Spektrální křivky smrku ztepilého ..... 49
5.3.5 Spektrální křivky borovice lesní ..... 50
5.4 Vývoj NDVI napříč vegetační sezónou ..... 51

**6 Diskuse ..... 52**

**7 Závěr ..... 55**

**8 Reference ..... 56**

**9 Přílohy ..... 64**

# 1 Úvod

Téměř každý objekt na Zemi určitým způsobem interaguje se slunečním zářením, jemuž je vystaven. Jednotlivé materiály a objekty toto záření různou měrou propouštějí, pohlcují či odrážejí. Z hlediska dálkového průzkumu hraje zásadní roli především podíl záření odraženého zpět do prostoru. Znalost elektromagnetických vlastností látek a jejich okolí umožňuje z naměřených hodnot odrazivosti určit, o jakou látku se jedná a v jakém je stavu. Pro určitou třídu objektů (např. vegetace) nabývá odrazivost v určité části spektra typických hodnot. Optické chování vegetace předurčuje hlavně vnitřní struktura a biochemické vlastnosti listu. Spektrální projev různých druhů dřevin je odlišný a v průběhu vegetační sezóny se dynamicky mění. Závisí zejména na morfologickém uspořádání listí a momentálním poměru obsažených fotosyntetických pigmentů.

Monitorování stavu vegetace přináší porozumění současným procesům v kontextu probíhajících klimatických změn, které mají stěžejní vliv zemědělskou a lesnickou produkci. Sledování vegetačních projevů má tedy globální význam a dálkový průzkum Země představuje jeden z nejefektivnějších nástrojů, jak toho dosáhnout. Zejména využití bezpilotních prostředků (UAV), které jsou schopné pracovat v nízkých nadmořských výškách a poskytovat snímky s ultra vysokým prostorovým rozlišením, se pro monitoring území s menší rozlohou jeví jako ideální. Jejich výhodou je také flexibilita v plánování letových misí, snadná dostupnost a variabilita snímacích zařízení, která jsou schopné nést.

# 2 Cíle práce

Cílem práce je charakterizovat a porovnat spektrální projev vybraných druhů dřevin napříč jedním vegetačním obdobím, popsat vývoj jejich spektrální křivky a určit mezidruhové rozdíly hodnot relativní spektrální odrazivosti.

# 3 Literární rešerše

## 3.1 Principy optického DPZ

### 3.1.1 Elektromagnetické záření

Dálkový průzkum Země získává informace o objektech a jevech obvykle prostřednictvím elektromagnetického záření (Svatoňová et Lauermann, 2010). Tento princip vychází ze skutečnosti, že každý předmět, jehož teplota je vyšší než absolutní nula (0 °K = -273,15 °C), odráží, absorbuje a vyzařuje elektromagnetické záření, které lze pomocí opticko-mechanických, elektronických a jiných zařízení zachycovat a registrovat i na velké vzdálenosti. V dálkovém průzkumu Země je tedy nositelem informace elektromagnetické záření, které je tvořeno elektromagnetickými vlnami (Obrázek 1) (Plánka, 2007). Každý objekt na Zemi je vystaven jeho působení. Největším zdrojem tohoto záření je Slunce. (Lillesand et Kiefer, 2000).

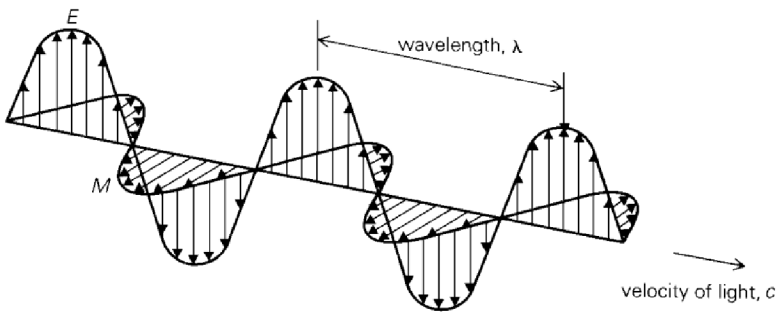
Elektromagnetické záření závisí na délce a velikosti vysílaného signálu, podmínkách atmosféry a vlnové délce. Nejvíce se na ovlivňování záření podílí rozptyl a absorpce. Jednotlivé materiály a objekty na zemském povrchu elektromagnetické záření, na ně působící, různou měrou odráží a pohlcují. Tato vlastnost se odvíjí od jejich silového pole a je využívána v DPZ (Dobrovolný, 1998). Elektromagnetické záření se prostorem šíří rychlostí světla ($c = 3 \times 10^8$ m/s) (Lillesand et Kiefer, 2000) v podobě sinusoidního vlnění, tvořeného dvěma složkami – elektrickou (E) a magnetickou (M). Při šíření homogenním, izotropním prostředím jsou na sebe vektory těchto složek navzájem kolmé. Vznik záření je zapříčiněn zrychlením či zpomalením pohybu nabité částice (Kolář et al., 1997).

Zásadními veličinami elektromagnetické vlny jsou:

- Rychlost (c) – rychlost světla, která tvoří část spektra elektromagnetického záření
- Vlnová délka ($\lambda$) – vzdálenost dvou sousedních vrcholů vlny
- Frekvence (v) – počet kmitů (vrcholů) vlnění procházejících fixním bodem za jednotku času (Aggarwal, 2004).

Mezi frekvencí a vlnovou délkou platí nepřímá úměra (Dobrovolný, 1998).

$c = \nu\lambda.$




**Obrázek 1:** *Elektromagnetická vlna; Zdroj: Aggarwal (2004)*

Rychlost postupu vlny se odvíjí od elektrických a magnetických vlastností prostředí, jímž se šíří. Ty popisuje relativní permitivita ε, relativní permeabilita μ, a měrná vodivost σ (Kolář et al., 1997). Rychlost postupu vlny je určena vztahem:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}}$$

**Rovnice 1:** *Rychlost vstupu vlny*

Pokud se uvádí energie vztažená k záření o vybrané vlnové délce, označuje se příslušná radiometrická veličina slovem „spektrální“ a její symbol dodatečným indexem $\lambda$ nebo $\nu$. Z matematického hlediska spektrální veličiny označují diferenciální veličinu vzhledem k délce vlny, udávají velikost vztaženou na jednotkový interval vlnové délky (Plánka, 2007).

Ačkoliv lze mnoho vlastností elektromagnetické energie snadno popsat pomocí teorie vlnění, mírně odlišný pohled na to, jak tato energie interaguje s hmotou nabízí teorie částic. Ta naznačuje, že EM záření se skládá z mnoha samostatných jednotek, nazývaných fotony či kvanta. Energie fotonu je pak rovna:

$$Q = hc / \lambda = h\,\nu$$

**Rovnice 2:** *Výpočet energie fotonu*

kde Q značí energii kvanta a h Planckovu konstantu (Aggarwal, 2004).

Celé spektrum je rozděleno do několika druhů elektromagnetického záření podle vlnové délky nebo frekvence (Plánka, 2007). V dálkovém průzkumu jsou využívány zejména vlnové délky viditelného, infračerveného a mikrovlnného záření (Plánka, 2007).

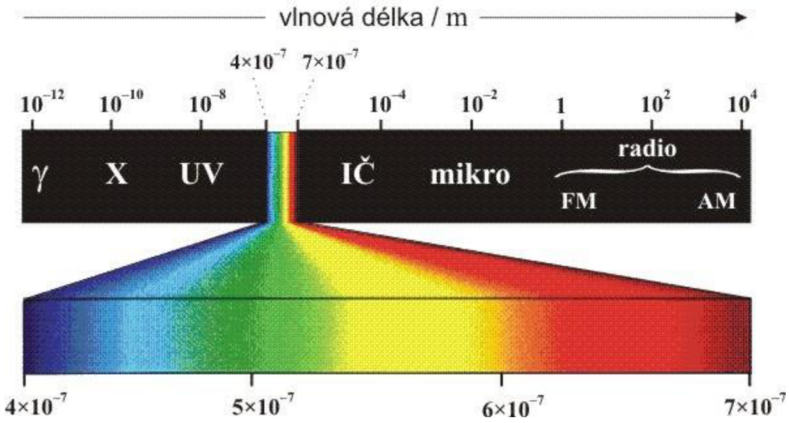
**Viditelné záření**

Úzká část spektra rozeznatelná lidským okem je nazývána viditelným zářením (VIS) a nachází přibližně v intervalu od 400 do 700 nm (Tabulka 1) (Schott, 2007).

| Barva | Interval vlnové délky [nm] |
|---|---|
| Fialová | 400 - 446 |
| Modrá | 446 - 500 |
| Zelená | 500 - 578 |
| Žlutá | 578 - 592 |
| Oranžová | 592 - 620 |
| Červená | 620 - 700 |

**Tabulka 1:** *Spektrum viditelného záření*

Přestože je viditelná část elektromagnetického spektra poměrně úzká (Obrázek 2), pro dálkový průzkum je zásadní. Jedná se o jedinou část spektra, která může být spojována s pojmem barvy. Modrá, zelená a červená jsou základními barvami, jejichž kombinace v určitém poměru dává vzniknout ostatním barvám. Barva objektu je definována barvou světla, které odráží (Aggarwal, 2004).




**Obrázek 2:** *Spektrum elektromagnetického záření;*

*Zdroj: Kubáček (2011)*

**Infračervené záření**

Za infračervené zářením je považována část elektromagnetického spektra o vlnové délce přibližně 750 až 1 000 000 nm (Tabulka 2) (Paschotta, 2022). Část energie slunečního záření dopadajícího na Zemi je absorbována atmosférou a povrchem, čímž se planeta ohřívá. Toto teplo je ze Země vyzařováno ve formě infračerveného záření. Člověk jej není schopen vnímat zrakem, ale denně ho detekuje ve formě tepla (NASA, 2022). V dálkovém průzkumu se používá odražené infračervené záření (Aggarwal, 2004) v rozsahu přibližně 750 – 4 000 nm (Kolář et al., 1997). Záření s vlnovou délkou větší než přibližně 25 000 nm je silně absorbováno atmosférou a pro dálkový průzkum je nevyužitelné (Plánka, 2007).

| Spektrální pásmo | Rozsah vlnové délky [nm] |
|---|---|
| Blízké infračervené (NIR) | 750 - 1 400 |
| Krátkovlnné infračervené (SWIR) | 1 400 - 3 000 |
| Středněvlnné infračervené (MWIR) | 3 000 - 8 000 |
| Dlouholvnné infračervené (LWIR) | 8 000 - 15 000 |
| Daleké infračervené (FIR) | 15 000 - 1 000 000 |

**Tabulka 2:** *Rozdělení infračerveného záření na jednotlivá pásma; Zdroj: Paschotta (2022)*

**Blízké infračervené** záření je stěžejní pro studium vegetace, především v lesnictví a zemědělství. Voda se v těchto vlnových délkách chová jako téměř absolutně černé těleso (Dobrovolný, 1998).

**Krátkovlnné infračervené** záření je pohlcováno vodou ve třech oblastech: 1 400, 1 900, 2 400 nm. Využití této části spektra tedy nachází zejména v odhadu množství vody obsažené ve vegetaci či půdě. Využívá se také pro rozlišení mraků a ledu, které se na snímcích mohou jevit ve stejné barvě (NASA, 2014).

**Střední infračervené** záření se používá ke studiu emitovaného tepelného záření v noci. Hodí se také pro měření povrchové teploty moře, dále k měření mraků či požárů (NASA, 2014). Využíváno je také v oblasti geologie (Dobrovolný, 1998).

**Dlouhovlnné infračervené** záření je Zemí ve většině vyzařováno (nikoliv odráženo), takže jej lze pozorovat jak ve dne, tak v noci. Lze jej využít k měření teploty země či vody, proto nalézá využití zejména v oblasti geotermálního mapování a v detekci zdrojů tepla, jako např. požárů, úniků plynu atd (NASA, 2014).

## 3.2 Spektrální vlastnosti vegetace

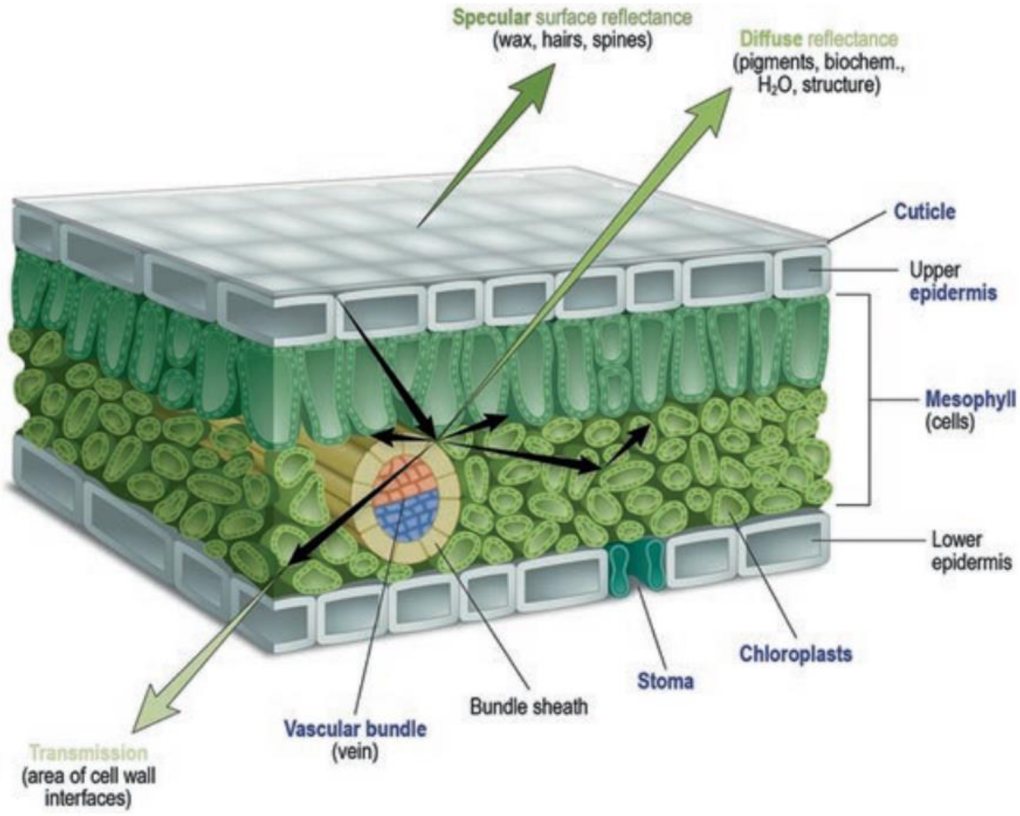
### 3.2.1 Struktura listu

List (fylom) je postranní, většinou plochý, zelený orgán omezeného růstu, sloužící především k fotosyntetické asimilaci a transpiraci. Listy se zakládají exogenně – z periferních meristémů růstového vrcholu stonku. Morfologicky bývá list rozlišen na řapík (petiolus) a listovou čepel (lamina) nebo je bezřapíkatý, přisedlý (Vinter, 2009).

Podle anatomické stavby se listy dělí na:

- Bifaciální (dorziventrální), různostranné (ploché listy s rozdílnou stavbou na svrchní a spodní straně)
- Monofaciální (izolaterální), stejnostranné (ploché listy, jejichž stavba je na obou stranách stejná
- Unifaciální (monolaterální), jednostranné (válcovité, rourovité) (Krejčí et Slabý, 2008)

Povrch listu je pokryt pokožkou neboli epidermis (Obrázek 3), která se může lišit na vrchní a spodní části listu. Může být navíc pokryta tenkou vrstvou kutikuly (Tomášková et Kubásek, 2016). Základní parenchymatické pletivo vyplňující prostor mezi oběma pokožkami je označována jako mezofyl. Ten bývá u bifaciálních listů rozlišen na palisádový parenchym (přiléhá ke svrchní pokožce) a houbový parenchym (přiléhá ke spodní pokožce). Palisádový parenchym je tvořen jednou nebo více vrstvami protáhlých buněk orientovaných úzkou stranou k horní pokožce. Palisádové buňky jsou bez intercelulár, obsahují velké množství chloroplastů uložených podél buněčných stěn a slouží především k fotosyntéze. Houbový parenchym je tvořen z buněk různého tvaru s velkými intercelulárami, které jsou propojeny s dutinami průduchů. Buňky houbového parenchymu jsou chudší na chloroplasty než buňky palisádového parenchymu a slouží především k transpiraci. Proto je rub listu zpravidla světlejší než líc (Krejčí et Slabý, 2008).




**Obrázek 3:** *Anatomická stavba listu; Zdroj: Serbin et Townsend (2020)*

Vnitřní struktura a biochemické vlastnosti listu předurčují optické chování vegetace hodnoceného nástroji dálkového průzkumu (Serbin et Townsend, 2020). Záření dopadající na list rostliny je částečně absorbováno, částečně odraženo a částečně propuštěno (Gates et al., 1965). Většina energie je přenášena či odrážena v závislosti na strukturálních vlastnostech listu (Huete, 2004), jako je například síla kutikuly, mocnost voskové vrstvy či počet trichomů. Tyto parametry mají společně vliv zejména na první odraz, potažmo odrazí část záření, která tím pádem do vnitřní struktury listu ani nepronikne. Síla mezofylové vrstvy, spojená s dalšími vlastnostmi (např. mocnost listu) může ovlivnit míru rozptylu záření uvnitř listu, propustnost listem a vyšší absorpci v některých vlnových délkách. Rozptýlené záření odražené zevnitř je modifikováno interními vlastnostmi listu a z hlediska dálkového průzkumu působí jako významný nositel informací (Serbin et Townsend, 2020).

Rozdíly v odrazivosti jsou dány jak druhem rostliny, tak odlišnými vlastnostmi jednotlivých rostlinných orgánů (Albrechtová et Barrett, 2003). Listy jehličnanů (jehlice) mají více válcovitý tvar s vnitřkem vyplněným buňkami parenchymu a centralizovaným cévním svazkem, odděleným od mezofylu vrstvou endodermálních buněk (Ustin et Jacquemoud, 2020). Za účelem snížení transpirace přizpůsobily jehlice svou stavbu, která je odlišuje od širokých

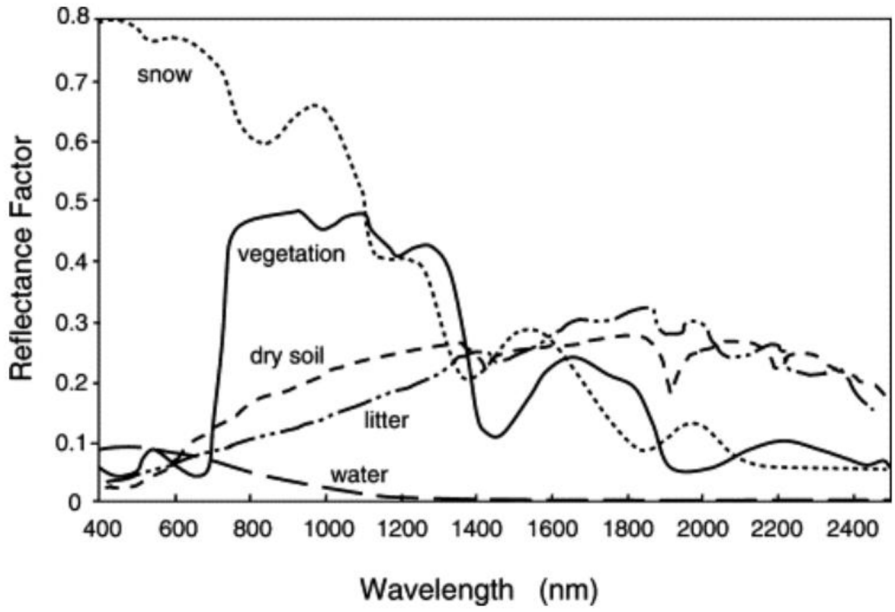
listů malým povrchem, silnou kutikulou, silnostěnným epidermem, sklerenchymatickým hypodermem a ucpáváním stomat voskem v zimním období (Vinter, 2009).

Fyziologické a morfologické znaky listů nebývají stejné ani v rámci jednoho stromu, ale mění se v závislosti na vnějších podmínkách, nejčastěji vlivem slunečního záření. Např. v porostech smrku ztepilého dochází vlivem nerovnoměrného osvitu k vysoké variabilitě tvaru jehlic. Stinné jehlice mívají nižší hustotu, jsou zploštělé a tenčí, zatímco osluněné jehlice bývají na průřezu větší a jejich tvar je blíže kruhu, což má dopad na rychlost fotosyntézy či vodivost listů (Gebauer et al., 2011).

Energie viditelného záření je rostlinami využívána při fotosyntéze a je známá jako fotosynteticky aktivní radiace (FAR). FAR téměř odpovídá spektrálnímu rozsahu viditelného záření (Gates et al., 1965). Blízké infračervené záření leží za hranicí lidského vnímání. Rostliny na něj reagují zcela odlišným způsobem než na záření ve VIS (Acker et al., 2014). NIR je vegetací většinou odráženo zpět do prostoru, vnitřní struktura zdravého listu působí jako jeho rozptylovač (Aggarwal, 2004). Listy jehličnanů jsou kompaktní, s malým vzduchovým prostorem mezi buňkami. To snižuje vnitřní rozptyl světla a přispívá k nízké odrazivosti NIR jehličí ve srovnání s širokolistými rostlinami (Ustin et Jacquemoud, 2020). Měření a monitoring odrazivosti v NIR pásmu je jedním ze způsobů, jak určit zdravotní stav či míru stresu vegetace (Aggarwal, 2004; Huete, 2004).

Podobné chování se projevuje také v pásmu SWIR, kde však hraje dominantní roli obsah vody ve vegetaci. Voda obsažená ve zdravé vegetaci absorbuje záření ve SWIR pásmu, zatímco výraznější odraz svědčí o přítomnosti vodního stresu (Acker et al., 2014).

Spektrální odrazivost značí o přítomnosti či nepřítomnosti určitého druhu materiálu, jeho pozici a tvaru (Huete, 2004). Popsané vegetační vlastnosti se promítají do podoby obecné spektrální křivky (Graf 1).




**Graf 1:** *Spektrální křivky různých materiálů; Zdroj: Huete (2004)*

### 3.2.2 Rostlinná barviva

Rostliny obsahují mnoho různých látek schopných absorbovat sluneční záření ve viditelné oblasti spektra. Souhrnně jsou tyto látky označovány jako barviva či pigmenty, protože působí zbarvení rostlin (Pavlová, 2006). Poměr jejich obsahu v rostlinách se liší v závislosti na fázi vegetačního cyklu (Ustin et al., 2009). U vyšších rostlin jsou rozlišovány dvě hlavní skupiny fotosyntetických pigmentů: chlorofyly a karotenoidy (Tomášková et Kubásek, 2016). Chlorofyly jsou zřetelně zelená přírodní barviva obsažená výhradně ve fotosyntetických rostlinách a vybraných bakterií (Dailey, 1990). Představují nezbytný prvek procesu fotosyntézy, z toho důvodu jsou považovány za nejdůležitější molekuly na Zemi (Davies, 2004). Jako jediný pigment má schopnost účastnit se reakce přeměny světelné energie na chemickou (Campbell et Reece, 2002). Z chemického hlediska je možné chlorofyly zařadit mezi cyklické tetrapyroly s komplexně navázaným hořečnatým iontem. Stejně jako ostatní pigmenty, které se nachází v plastidech mají hydrofobní povahu, kterou jim uděluje zbytek alkoholu fytolu ($C^{20}$) navázáný na pyrolové jádro (Procházka, 1998). Existuje pět hlavních typů chlorofylu: *a*, *b*, *c*, *d, e,* plus příbuzná molekula zvaná bakteriochlorofyl, nacházející se v prokaryotech. Pro rostliny je však důležitý především typ *a* a *b* (Khan Academy, 2022).

**Chlorofyl *a*** je nejdůležitějším fotosyntetickým pigmentem (Ustin et al., 2009), zajišťuje totiž rozdělení náboje a předání elektronu jiné molekule. Chlorofyl *a* je základní molekulou

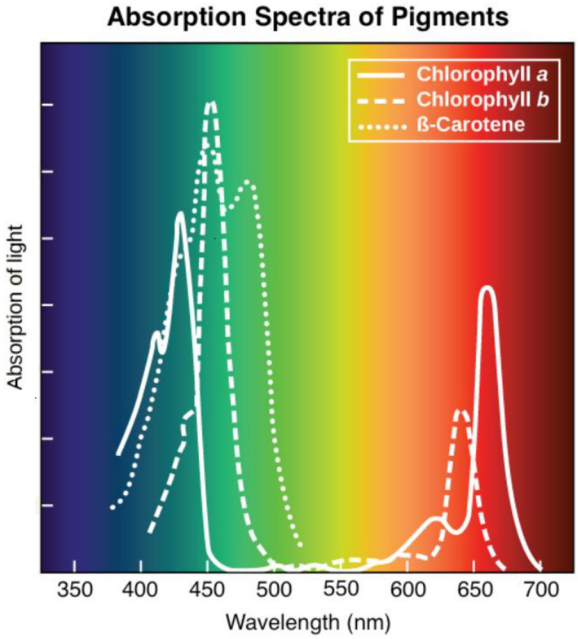
fotosystémů a hlavní součástí reakčních center, kde jsou uspořádány do specifických párů (Tomášková et Kubásek 2016). Vzhledem k jeho klíčové roli jsou všechny ostatní pigmenty považovány za doplňkové. Doplňkové pigmenty rostlině umožňují absorbovat širší rozsah vlnových délek a zachytit tak více energie ze slunečního záření (Khan Academy, 2022).

**Chlorofyl *b*** patří mezi pigmenty schopné předávat excitaci (excitovaný stav) směrem ke specifickému páru. Je produktem řízené oxidace chlorofylu *a*. Chlorofyly jsou schopné mezi sebou přenášet energii s téměř 100 % účinností (Tomášková et Kubásek, 2016).

Mezi další fotosyntetické pigmenty patří **karotenoidy** (Tomášková et Kubásek, 2016), nacházející se v chromoplastech květů a plodů, v chloroplastech a etioplastech (Pavlová, 2006). Stejně jako chlorofyly absorbují záření, jejich významná role však spočívá ve zbavování se přebytečné světelné energie. List vystavený záření přijímá velké množství energie, pokud s touto energií nenakládá správně, fotosyntetický aparát může být narušen. Karotenoidy v chloroplastech pomáhají absorbovat přebytečnou energii a rozptýlit ji jako teplo (Khan Academy, 2022). Mezi nejčastěji se vyskytující karotenoidy patří β-karoten a žluté barvivo xantofyl (Pavlová, 2006; Římanová, 2020).

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 (Graf 2). Záření, které pigmenty nejsou schopné absorbovat, je odraženo a lidským okem vnímáno jako konkrétní barva (Khan Academy, 2022). Chlorofyly absorbují fotony hlavně modré a červené části viditelného spektra (Graf 2) (Pavlová, 2006), které dokážou využít pro fotosyntézu (Roman et Ursu, 2016). Zelené viditelné spektrum odrážejí. Z tohoto důvodu rostliny obsahující chlorofyl (*a* i *b*) člověk vnímá jako zelené (Pavlová, 2006). Maximální schopnost absorbovat záření pro chlorofyl *a* nastává při vlnové délce 430 až 662 nm, pro chlorofyl *b* je to pak 453 až 642 nm (Ustin et al., 2009).

Karotenoidy absorbují nejvíce záření v modrém (Huete, 2004) a fialovém pásmu. Naopak odrážejí a propouštějí světlo zelené, žluté, oranžové a červené, proto se jeví jako žluté až oranžové (Pavlová, 2006) a zapříčiňují různorodou barevnost listí (Huete, 2004). Intenzita zbarvení listů je také závislá na počasí. Je-li hodně slunečno a nemrzne, jsou barvy výraznější. Mrazíky totiž narušují produkci antokyanů, které dávají vyniknout červeným odstínům (Římanová, 2020). Intenzivnějšímu zbarvení přispívá také zvýšená vlhkost půdy a více srážek (Australian Academy of Science, 2022). Snaha o kvantifikaci rostlinných pigmentů pomocí dálkového průzkumu Země má značný potenciál v indikaci fyziologického stavu vegetace (např. stres), určování druhů či odhad produktivity (Blackburn, 1998).




**Graf 2:** *Absorpce světla rostlinnými pigmenty; Zdroj: Khan Academy (2022)*

Před opadem listí ze stromu dochází k řadě fyziologických procesů. Chlorofyl pro rostlinu představuje také zásobárnu cenných prvků (dusík, fosfor). Aby při opadu nedošlo k jejich ztrátě, je na podzim odbouráván v reakci na ochlazení a úbytek světla (Římanová, 2020) a důležité látky jsou přesouvány do zásobních pletiv ve větvích, kmeni a kořenech. Současně dochází k pozastavení produkce nových molekul (Program Globe, 2008; Conners, 2017), dominantní chlorofyl tak z listů mizí (Římanová, 2020), čímž je ostatním barvivům umožněno, aby se projevila (Program Globe, 2008). Karotenoidy nejsou podzimní pigmenty, v listu jsou přítomny vždy (Young et al., 1991), nedochází tedy k obarvení listů, nýbrž k jejich „odzelenění“, přičemž výsledná barva závisí na tom, jaký pigment v nich převládne (Římanová, 2020). Klimatické podmínky nemají na barvu listu vliv, určují však dobu, kdy listy ze stromu opadávají (Program Globe, 2008).

Opad listů je řízen, stejně jako jejich zbarvování, rostlinnými hormony. Zkracující se dny jsou pro dřeviny signálem ke snižování produkce hormonu auxinu, který zajišťuje soudržnost vrstev buněk v tzv. odlučovací vrstvě mezi řapíkem listu a větvičkou. Naopak narůstá koncentrace hormonu etylenu, jenž způsobuje produkci enzymů narušujících stěny buněk v této vrstvě. Listy se tak oddělí od větve a opadnou (Římanová, 2020), na exponované ploše pak vyroste ochranná vrstva buněk (Conners, 2017). Většina jehličnanů je stálezelená a najednou neopadavá. Jejich listy jsou pokryty tuhou voskovou vrstvou, která jim pomáhá vydržet i drsné zimní podmínky (Australian Academy of Science, 2022).

## 3.3 Fenologie zájmových dřevin

### 3.3.1 Pojem fenologie

Fenologie je vědní obor, který se zabývá projevy rostlin a živočichů v souvislosti s podnebím, počasím a důrazem na periodicky se opakující jevy během roku (Kožnarová et Klabzuba, 2011). Termín fenologie má původ v řečtině, slovo „fainó“ v českém překladu znamená „vyjevuji“. Naznačuje, že pozornost upoutávají jen zřetelné a nápadné vývojové fáze rostlin. Jedná se o přírodní jevy, které se každoročně opakují, avšak v nestejných obdobích a s rozdílnou intenzitou (Krška, 2006). Fenologická fáze (zkráceně fenofáze) je určitý zevně dobře rozpoznatelný, zpravidla každoročně se opakující projev vývinu nadzemních orgánů (zejména pupenů, listů, květenství) sledovaných druhů rostlin (Fenofáze, 2022).

Výsledky fenologického pozorování a fenologická data určitým způsobem vyjadřují povahu klimatu v konkrétní oblasti a nabízí z hlediska ekologie cenné informace o průběhu a trvání vegetačního období. Z hlediska nástupu a procesu fenofází mají vedle genetických vlastností největší význam faktory jako teplota a vlhkost půdy, teplota vzduchu, radiace či jiné meteorologické elementy (Kulhavý, 2009). Vztah mezi fenologií a klimatologií je velmi úzký. Fenologické jevy do značné míry vystihují vlastnosti podnebí různého měřítka (makroklima až mikroklima). Z tohoto důvodu mohly fenologické poznatky přispět k porozumění podnebních poměrů v době, kdy bylo ještě málo meteorologických pozorování. Fenologie je i prostředkem prognostickým, neboť přispívá k předpovědi chorob a škůdců (Krška, 2006).

Pozorování a vyhodnocování fenologických fází rostlin může sloužit jako bioindikátor klimatických změn (Kulhavý, 2009). Fenologická pozorování slouží jako jedny z nejcitlivějších údajů v rámci identifikaci druhů rostlin. Jejich pomocí lze zjistit, jak rostliny reagují na regionální klimatické podmínky a změny (Chmielewski et Rötzer, 2001). Fenologie se také ukázala být jako důležitý podklad pro ekologický výzkum, zejména díky značnému příslibu řešení otázek v oblasti globálního modelování, monitorování a změn klimatu (Schwartz, 1999).

### 3.3.2 Fenologické fáze

Popis fenofáze je výčtem znaků, jejichž současný výskyt charakterizuje fenofázi a umožňuje ji rozpoznat jako určitý moment nebo úsek v procesu vývinu rostliny. Nástup fenofáze je časový údaj určující, kdy vývin dospěl právě do úrovně dané popisem fenofáze (Fenofáze, 2022). Server fenofaze.cz (2022) uvádí pro zájmové lesní dřeviny následující jarní fenofáze:

- **Rašení** – Pozorují se jen terminální (vrcholové) pupeny. Ve spojitosti s růstem orgánů (v tomto případě listů) skrytých uvnitř pupenu došlo k částečnému rozevření obalných šupin, takže jsou vidět špičky listů či jehlic.
- **Plné olistění** – Při pozorování se berou v úvahu všechny listy či jehlice s výjimkou těch, které vznikají na janských výhonech. Janské výhony se na některých druzích (např. bříza, modřín) objevují začátkem léta, když vývoj normálních jarních výhonů je zpravidla již ukončen a dochází k druhému růstu výhonů. Čepel listu je již rozvinutá, u složených listů jsou již rozvinuty všechny lístky. Způsob, jakým list dosedá na větévku, je zřetelný (je vidět celý řapík, popř. báze přisedlého listu). List má charakteristický, dospělosti odpovídající tvar a velikost.
- **Počátek kvetení** – Květy jsou rozevřené (jehnědy či šištice rozvolněné), prašníky jsou viditelné, alespoň některé z nich se právě otevírají a uvolňují pyl. V některých letech dochází koncem léta a na podzim k tzv. druhému rozkvětu.
- **Konec kvetení** – Prašníky v květech (šišticích, jehnědách) jsou již prázdné, tmavnou a zasychají, podobně jako nitky tyčinek. Rovněž korunní plátky nebo okvětí začínají zasychat a opadávají. Samčí jehnědy a šištice zasychají, rozpadávají se, padají k zemi.
- **Zralost plodů** – Plody či šištice mají charakteristický tvar a zabarvení, jsou dorostlé do konečné velikosti, dochází praskání (otevírání, drolení) plodů a uvolňováni semen či roznášení jednotlivých plodů větrem (křídlaté dvojnažky javorů).

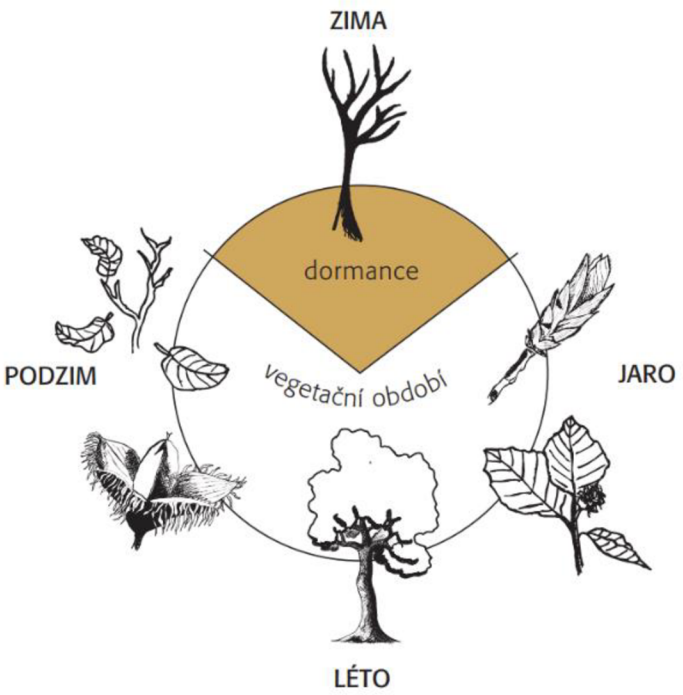
Pro listnaté dřeviny jsou pak zvlášť uvedeny ještě podzimní fenofáze:

- **Žloutnutí listů 10 %** – 10 % listů na stromě zežloutlo (zhnědlo či jinak se probarvilo). Nesmí se zaměňovat s patologickým žloutnutím, které je projevem výskytu chorob, škůdců či jiných nepříznivých faktorů vnějšího prostředí. Žloutnutí se projevuje u všech druhů dřevin s výjimkou smrku, borovice lesní a kosodřeviny, olše lepkavé a šedé.

- **Žloutnutí listů 100 %** – 100 % listů na stromě zežloutlo (zhnědlo či jinak se probarvilo). Při odečtu hladiny 100 % je třeba započítávat rovněž listy, které již opadaly. Na druhé straně se přitom neuvažují malé skupinky dosud zelených listů vytvořených opožděně na janských výhonech.
- **Opad listů 10 %** – Jedná se o první stupeň nástupu opadu, kdy 10 % listů je opadaných. Tato fáze nastává zpravidla až poté, co všechny listy či jehlice zežloutnou, ale není to pravidlo. Je třeba vycházet jednak z úbytku listů v korunách sledovaných rostlin, jednak z množství listí na zemi.
- **Opad listů 100 %** – Jedná se o druhý stupeň opadu, kdy 100 % listů je opadaných. Při odečtu hladiny 100 % se zanedbává výskyt často dosud zelených nebo teprve žloutnoucích skupinek listů na opožděných výhonech.

### 3.3.3 Fenologické roční období

Rostliny reagují velmi citlivě na průběh počasí, stěžejním faktorem je teplotu vzduchu. Ta má přímý vliv na urychlení či zpoždění jednotlivých vývojových fází. Studené jaro zpomaluje vývoj a opožďuje nástup cyklu, naopak teplé jaro vývoj uspíší. Kromě teploty má vliv také sluneční záření, vlhkost vzduchu a další meteorologické podmínky. Zmíněné faktory však na rostliny působí komplexně a rostliny reagují na kombinaci těchto prvků (Uhlíř, 1961). Střídání fenologických fází je v rostlinách rovněž geneticky zakódováno. Rostliny mírného pásma prožívají v průběhu roku jeden fenologický cyklus (Obrázek 4). Střídá se u nich období aktivního růstu a období klidu (dormance) (Program Globe, 2008).




**Obrázek 4:** *Roční fenologické cykly vegetace; Zdroj: Program Globe (2008)*

Fenologická roční období jsou charakterizována typickými vývojovými fázemi hojně rozšířených rostlin. Jednotlivá období se liší od období meteorologických. Rozeznáváme tato období (Uhlíř, 1961):

- Fenologické předjaří – Končí období vegetačního klidu. Z časového hlediska se dá zařadit 15. únor až 25. březen. Začínají růst cibuloviny, např. sněženky a bledule jarní. Rozkvétají také keře a stromy, ovšem kvetoucí před olistěním (např. líska obecná) (Hájková, 2012).
- Fenologické jaro – Dělí se na časné (doba kvetení třešní) a plné (kvetení jabloní, šeříku, olisťování dubu, buku, břízy a dalších dřevin). Fenologickému jaru odpovídá nástup hlavního vegetačního období (Rožnovský, 1999). Z časového hlediska lze časné jaro zařadit mezi 25. březen až 29. duben, plné jaro pak 29. duben až 29. květen.
- Fenologické léto – Fenologické léto je také možno rozdělit na časné, plné a tzv. babí. Časné léto začíná kvetením lip, trnovníku, růže šípkové, luční trávy jsou v plném květu. V plném létu dozrávají maliny, bez černý, počíná kvést vřes a dozrávají obiloviny. Začátek babího léta je charakteristický rozkvétáním ocúnů, dozráváním jírovce a ovocných stromů (Hájková, 2012).

- Fenologický podzim – začíná se sklizní cukrové řepy, střed tohoto období je charakteristický setím ozimých obilovin, sklizní dalších okopanin a žloutnutím listí. Konec podzimu nastává opadem listí. Přibližně se shoduje s koncem vegetačního období (Rožnovský, 1999), kdy průměrná denní teplota obvykle nepřesahuje 10 °C.
- Fenologická zima – období vegetačního klidu. Půda zamrzá a jen výjimečně může dojít k probuzení vegetace (Uhlíř, 1961). Rostliny na jejím počátku ukončily vegetační periodu. Došlo k přerušení asimilace, dále ke stažení zásobních živin a opadu listů (Bielawska et al., 1964).

### 3.3.4 Zájmové dřeviny

**Javor klen** (*Acer pseudoplatanus*)

Strom velkých rozměrů s přímým válcovitým kmenem a košatou korunou. Klen dosahuje 35–40 m výšky a průměru kmene až 2 m. Šupinovitě odlupčivá borka starých kmenů bývá velmi různě utvářena. Pupeny jsou světlezelené. Vstřícné listy jsou dlouze řapíkaté, dlanitě pětilaločnaté, 7–20 cm dlouhé, zářezy v listech dosahují do poloviny čepele, laloky na okraji jsou tupě pilovité. Na podzim listy žloutnou nebo červenají. Žlutozelné květy jsou v nicích hroznech, plody jsou dvounažky s vypouklými semeny, jejichž křídla svírají ostrý úhel (Fenofáze, 2022). Primárně roste na humózních půdách v suťových lesích, na svazích hlubších údolí, v bučinách a některých smrčinách. Druhotně se vyskytuje téměř všude, často byl vysazován v extravilánech i intravilánech obcí, jako alejový strom (Botany.cz, 2022).

Klen je dřevina snášející střední zástin a je dřevinou vlhkého horského klimatu oceánického charakteru. Nároky na půdní a vzdušnou vlhkost jsou značné. V terénu bývá klen vázán na vlhká stanoviště, jaká představují prameniště a náplavy říček, nesnáší však stagnující vodu a nevydrží záplavy. Typická horská stanoviště klenu jsou charakterizována vysokými srážkami nebo vysokou vzdušnou vlhkostí (Fenofáze, 2022). Vyskytuje se v celé Evropě, původní výskyt byl soustředěn pravděpodobně jen do vyšších poloh střední Evropy (Botany.cz). Na území České republiky roste klen roztroušeně, nejčastěji ve skupinkách ve všech pahorkatinách, vrchovinách a pohořích (Fenofáze, 2022).

**Smrk ztepilý** (*Picea abies*)

Vždy zelený jehličnatý strom (Míchal, 1993), vysoký až 50 m s kuželovitou, zavětvenou korunou často až k zemi. Roste v horských oblastech a rozvolněných porostech. Větve jsou mírně vztyčené nebo mírně ohnuté k zemi (u starších stromů), jen ve vrcholových partiích vždy

mírně vztyčené, větvičky převislé. Jehlice tmavě zelené, až 2 cm dlouhé. Samčí šištice jsou červené, až 2 cm dlouhé, samičí jsou červené nebo zelené, do 6 cm dlouhé. Zralé šišky jsou hnědé, převislé, až 15 cm dlouhé. Pyl se tvoří od května do června v pravidelných čtyřletých cyklech (Botany.cz, 2022).

Obecně lze smrk považovat za dřevinu polostinnou až stinnou, se střední až vyšší tolerancí k zástinu. Někdy je však charakterizován jako slunná dřevina, v mládí tolerantní k zástinu. Jeho nároky rostou s přibývající nadmořskou výškou (Musil et Möllerová, 2003). Přirozené monodominantní (klimaxové, zonální) smrčiny se ve střední Evropě vyskytují v nadmořských výškách nad 1100 m n. m. Lesnickým hospodařením byl rozšířen i do nižších poloh a na nepůvodní lokality, kde mnohdy vytváří rozsáhlé monokultury, přičemž právě porosty vykazují velkou ekologickou nestabilitu (Botany.cz, 2022). Z hospodářského hlediska se jedná o nejvýznamnější dřevinu střední a severní Evropy (Míchal, 1993).

**Dub letní** (*Quercus robur*)

Statný strom s hlubokými a často mohutnými kořeny a nepravidelnou korunou. Dosahuje výšky až 40 m a průměru kmene až 1,5 m. Patří k našim nejmohutnějším dřevinám. Má silnou kůru s velmi hojnými kratšími brázdami. Listy jsou celokrajné, obvejčité, hluboce laločnaté, s velmi krátkým řapíkem, na bázi srdčité (Coufal, 2004). Optimum výskytu nachází v hlubokých půdách, snáší však i půdy chudší (Botany.cz, 2022). Roste na většině území ČR s těžištěm výskytu v termofytiku, méně v mezofytiku, v oreofytiku je vysazovaný (Hejný a Slavík, 2003). Nejčastěji se vyskytuje v nížinných lužních lesích a pahorkatinových doubravách. V suprakolinním stupni roste jen vtroušeně v porostech jiných dřevin. Celkem roste na 6 % lesní půdy v ČR a jeho podíl se nadále zvyšuje. Z lesnického hlediska se jedná o velmi ceněné, tvrdé a vysoce pevné dřevo. Dub letní patří mezi dlouhověké dřeviny, dožívající se 500, výjimečně i 1000 let (Botany.cz, 2022). Kvetení dubu letního trvá v závislosti na výškovém pásmu v průměru 11 až 16 dní. Dub letní začíná kvést v průměru mezi 27. dubnem a 24. květnem, pravděpodobnost nástupu počátku kvetení mezi 1. a 10. květnem je 46 % a mezi 11. a 20. květnem 23 % (Hájková a kol., 2012).

**Habr obecný** (*Carpinus betulus*)

Středně velký strom o výšce až 25 m s průměrem kmene až 1 m. Často však bývá mnohem menšího vzrůstu. Je nápadný svým podélně žebernatým („svalovitým“) kmenem (Coufal et al., 2004). Borka habru je hladká, tmavošedá se světlejšími vzájemně propojenými pruhy („blesky“) (Botany.cz, 2022). Listy jsou vejčité až oválné, 5–10 cm dlouhé, ostře dvojitě

pilovité, na podzim žloutnoucí (Coufal et al., 2004). Z kuželovitých, špičatých listových pupenů s hnědými až červenohnědými brvitými šupinami vykukují hedvábitě chlupaté a nápadně zřasené mladé listy. Samčí převislé jehnědy vyrůstají z loňských větévek. Samičí řídká květenství na konci letošních větévek rostou vždy po dvou za trojlaločným listenem. Plodem je široce vejcovitý zploštělý oříšek (Botany.cz, 2022). Dožívá se 120–150 let, jen výjimečně i 300 až 400 let (Coufal et al., 2004). Původní rozšíření je hojné v termofytiku (kromě odlesněných území) a v teplejších částech mezofytika (Hejný et Slavík, 2003).

Habr má střední nároky na půdu a roste na rozmanitých horninách (Hájková a kol., 2012), povětšinou na hlinitých, humózních, ale i skeletovitých nebo kamenitých půdách (Botany.cz, 2022). Je odolný vůči výkyvům počasí. Habr lze zaměnit s bukem lesním, který však nikdy nemá žebrovitý kmen, pupeny má vždy odstálé a listy celokrajné. Kvetení habru obecného trvá v jednotlivých výškových pásmech po 200 m v průměru 15–21 dní. Habr obecný začíná kvést v průměru mezi 11. dubnem a 4. květnem, pravděpodobnost nástupu počátku kvetení mezi 11. a 20. dubnem je 31 % a mezi 21. a 30. dubnem 34 % (Hájková a kol., 2012).

**Borovice lesní** (*Pinus sylvestris*)

Jehličnan dorůstající do výšky až 40 m, s rozvolněnou, nepravidelnou korunou. Kůra na větvích a na mladších kmenech je tenká, v průsvitných plátcích se odlupující, na starších kmenech přechází v silnější, hluboce zbrázděnou kůru. Jehlice vyrůstají ze zkrácených větévek vždy po dvou ve svazečku. Samčí květy jsou uspořádány v početnější drobné za květu žluté šištice, a to na konci větví stejně jako samičí květy. Ty jsou však zelené a rostou buď jednotlivě, nebo nejvýše po dvou (Fenofáze, 2022). K odkvětu dochází v květnu až počátkem června (Musil, 2003). Šišky dozrávají druhým rokem (Fenofáze, 2022). Dobré úrody se vyskytují v průměru každý 3. až 6. rok. Jedná se o výrazně světlomilnou dřevinu, intolerantní k zastínění (Musil, 2003). Borovice lesní je odolný druh rostoucí až do výšky 1300 m n.m. Méně se mu však daří konkurovat jiným stromům. Proto je borovice původně vázána na extrémní stanoviště – skály, suché stráně, vřesoviště, rašeliniště, suťová pole. V lesnické praxi se vysazuje po celém území, často právě na horších, jinak těžko využitelných půdách (Fenofáze, 2022).

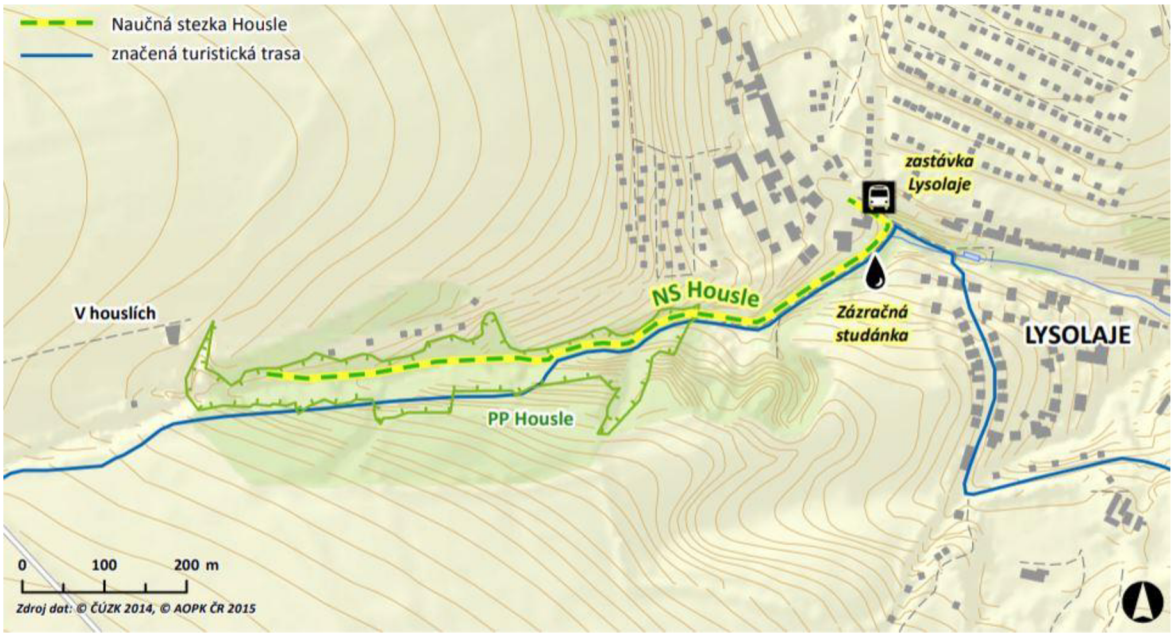
# 4 Metodika

## 4.1 Lokalizace zájmového území

Přírodní památka Housle se nachází při západní hranici katastru pražské městské části Lysolaje (Obrázek 5). Úzká, slepá, až 10 m hluboká, skalnatá rokle vznikla erozivním působením vody a částečně byla rozšířena bývalým lomem (Pražská příroda, 2021a). Rokle je podélně orientována od východu na západ, její délka dosahuje přibližně 650 m a je z většiny zalesněná (Dostálek, 2009). Jedná se o významný geomorfologický fenomén na území hlavního města Prahy (Pražská příroda, 2021a).

**Obrázek 5:** *Poloha zájmového území; Zdroj: ArcGIS Online (ESRI) (2021), vlastní zpracování*

Území je chráněno od roku 1982, kdy zde byla vyhlášena přírodní památka. Dle zřizovacího předpisu je hlavním předmětem ochrany erozní rokle s významným geologickým profilem se svrchnokřídovými mořskými usazeninami v nadloží proterozoických hornin (Vyhláška č. 3/1982 Sb. NVP, 1982). Výškové rozpětí území je 290–315 m n. m., celková rozloha činí 3,71 ha, ochranné pásmo pak 11,22 ha (AOPK, 2021). V dolní části rokle (v ochranném pásmu přírodní památky) se nachází silný pramen (Obrázek 6), jenž v minulosti sloužil jako zdroj pitné vody pro celé Lysolaje (Pražská příroda, 2021a). V horní části teče pouze přívalová voda po větších srážkách (Dostálek, 2009). Území, jakožto přírodní památka, spadá do péče Magistrátu hl. m. Prahy (AOPK, 2021). Housle jsou oblíbenou lokalitou, prochází jimi modrá turistická trasa a naučná stezka (Stezky, 2022). Na místě bývalé pískovny ve východní části území se nachází starý ovocný sad sloužící zejména k rekreaci místnímu obyvatelstvu (Pražská příroda, 2021b).




**Obrázek 6:** *Mapa PP Housle; Zdroj: Moravec (2015)*

- Bioregion: Řípský (1.2)
- Fytogeografické členění: Dolní Povltaví
- Geomorfologická jednotka: Pražská plošina
- Klimatická oblast: Teplá (T2)
- Přírodní lesní oblast: Polabí

  (AOPK, 2021)

## 4.2 Přírodní charakteristika území

### 4.2.1 Flora

V minulosti byla lokalita dlouhodobě odlesněna, což přispělo ke vzniku její geomorfologie, která je v současné době předmětem ochrany (Dostálek, 2009). To, že lokalita byla bezlesím s xerotermní vegetací, dokládá zbytek populace třešně křovité (*Prunus fruticosa*) a floristické nálezy Kubíkové, např. *Cotoneaster integerrimus*, *Sorbus aria*, *Stipa capillata* na jižním okraji rokle a společenstva xerotermních trávníků (*Scabioso ochroleucae-Brachypodietum pinnati*) v jejím blízkém okolí. Třešeň křovitá zde ještě v roce 1984 představovala největší populaci na sprašových slínech v Praze (Kubíková et al. 2005). Dnes je vedena v Červeném seznamu ČR jako silně ohrožená (Grulich et Chobot, 2017) a v rámci Houslí je asi nejvýznamnějším rostlinným druhem. Tento druh ustupuje v důsledku sekundárního zalesnění, které zcela změnilo charakter lokality (Kubíková et al. 2005).

V současné době na lokalitě přežívá pouze několik exemplářů. Dalšími druhy, vyžadujícími dle Červeného seznamu ČR, další pozornost, jsou dřín obecný (*Cornus mas*) a kavyl vláskovitý (*Stipa capillata*) (Dostálek, 2009; Grulich et Chobot, 2017).

Porosty xerotermní vegetace byly na počátku 20. století potlačeny protierozní výsadbou akátu a smrku. Přibližně v r. 1970 však došlo k dalšímu plošnému zalesnění, které dnes představuje již téměř čtyřicetiletý porost. Tento porost zastínil dříve osluněné okraje původního zalesnění a prakticky zlikvidoval podmínky pro přežití zbytků teplomilné vegetace.

Umělé zalesnění má nevhodnou druhovou skladbu (Tabulka 3) s vysokým podílem introdukovaného akátu (*Robinia pseudoacacia*). Vlivem úplného odlesnění území včetně okolní krajiny po několik tisíciletí zde vyhynula lesní květena. Proto i v místech, kde má stromové patro s převládajícím klenem a jasanem v současné době charakter přirozeného suťového lesa, odpovídající keřové a bylinné patro úplně chybí. Přímo na území přírodní památky i v širším okolí v současnosti panuje snaha o eliminaci nepůvodního akátu a smrku a jejich nahrazení přirozenou druhovou skladbou (javor, jasan, habr, dub) (Dostálek, 2009).

Housle jsou příkladnou ukázkou teplotní inverze, která na takto malém území umožňuje výskyt druhů vázaných na zcela odlišné podmínky. Zatímco horní hrana rokle svědčí xerotermním společenstvům, v chladném dně se lze setkat s množstvím mechů a kapradin včetně druhů vyloženě horských (Moravec, 2015), jako například *Brachythecium reflexum*. Průzkum v roce 1994 zjistil 29 druhů mechů a 5 druhů játrovek a ukázal, že je tato lokalita bryologicky velice bohatá (Dostálek, 2009).

| Název dřeviny | Současné zastoupení [%] | Přirozené zastoupení [%] |
|---|---|---|
| Javor klen | 68,54 | 0,00 |
| Habr obecný | 10,21 | 16,17 |
| Smrk | 6,76 | 0,00 |
| Dub letní | 4,15 | 25,25 |
| Lípa | 4,12 | 13,31 |
| Bříza | 2,20 | 0,00 |
| Jasan | 1,98 | 2,54 |
| Akát | 0,79 | 0,00 |
| Jírovec | 0,42 | 0,00 |
| Javor mléč | 0,40 | 10,73 |
| Borovice | 0,22 | 0,00 |
| Modřín | 0,22 | 0,00 |
| Dub zimní | 0,00 | 15,13 |
| Jeřáb břek | 0,00 | 8,79 |
| Jilm | 0,00 | 3,90 |
| Javor babyka | 0,00 | 2,83 |
| Třešeň | 0,00 | 1,36 |

**Tabulka 3:** *Druhová skladba dřevin na území PP Housle; Zdroj: Dostálek (2009)*

### 4.2.2 Fauna

Na spraších při severním okraji rokle se zachovaly drobné fragmenty teplomilných společenstev (Pražská příroda, 2021a), kde lze pozorovat dobře zachovalé ekosystémy stepního charakteru (Dostálek, 2009). Za významnou lze považovat populaci žahadlových blanokřídlých, z nichž bylo v lokalitě přírodní památky a jejího ochranného pásma při výzkumu v roce 2019 zaznamenáno celkem 219 druhů. Za kvalitním druhovým bohatstvím stojí především překvapivě velká rozmanitost malých různorodých biotopů, které se na této lokalitě vyskytují. Ze zjištěných druhů bylo zaznamenáno 23 z červeného seznamu ČR. Mezi nejvýznamnější zaznamenaný druh patří jednoznačně hbitěnka *Parascleroderma fuscipennis*, která byla v ČR chycena pouze jednou. Dalším velmi významným druhem je kriticky ohrožený druh včely pískorypky *Andrena niveata* (Hejda et al., 2017; Straková, 2020). Stejná stanoviště jsou zde obývána reliktními druhy hmyzu. např. z fytofágních brouků z mandelinkovitých *Coptocephala rubicunda*, *Longitarsus foudrasi*, *Psylloides instabilis*, z nosatcovitých *Sitona inops*, *S. longulus*, *Apion opeticum*, *A. cineraceum*, *Phrydiuchus topiarius*, včetně bezkřídlých *Otiorhynchus porcatus*, *Brachysomus villosus*, *B. echinatus, Trachyphloeus alternans*, *T. asperatus*.

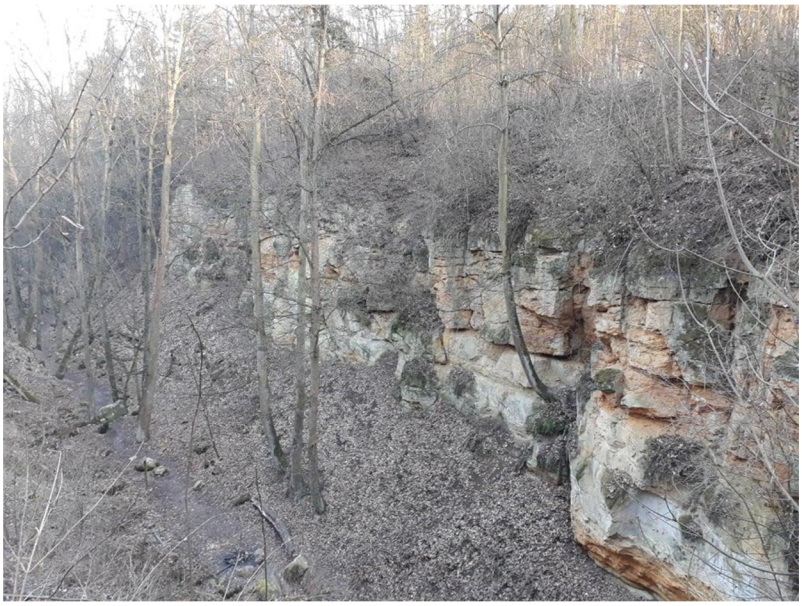
Samotná rokle není ze zoologického hlediska příliš významná. Nacházejí se zde zejména lesní druhy bezobratlých, z méně běžných píďalka (*Nothocasis sertata*),

která je vázaná na javory, nebo střevlík (*Pterostichus melas*) (Dostálek 2009) či velký noční motýl lišaj lipový (*Mimas tiliae)* (Pražská příroda, 2021a). Ze savců nacházejících se na lokalitě jsou typičtí zástupci lesní fauny – myšice lesní (*Apodemus flavicollis*) a norník rudý (*Clethrionomys glareolus*). Rokli také obývají některé běžnější lesní a křovinné druhy ptáků.

Na xerotermních stráních v těsné blízkosti přírodní památky se udržela populace užovky hladké (*Coronella austriaca*) a pavouků byla na vegetaci zaznamenána přítomnost vzácné snovačky *Dipoena melanogaster* (Dostálek, 2009).

### 4.2.3 Geologie

Geologický profil regionálního významu je hlavním předmětem ochrany PP Housle. Odhaluje výchozy pískovců (Obrázek 7) a opuk perucko-korycanského souvrství (cenoman, křída). Sedimenty moře transgredovaly na zvrásněné proterozoické břidlice. V mořských pískovcích je dobře patrné diagonální zvrstvení, umožňující rekonstruovat směr paleoproudění (Kubíková et al., 2005). Rokle je vyhloubená z větší části v křídových pískovcích a opukách, ve východní části však protíná i proterozoické metamorfované břidlice a při horní hraně rokle lze nalézt čtvrtohorní spraše. Housle jsou klasickou ukázkou tzv. transgrese, tedy vzájemného nasedání geologických vrstev, které spolu časově „nesousedí“ (Moravec, 2015). Území je součástí národního geoparku Barrandien (Kubíková et al., 2005).



**Obrázek 7**: *Pískovcové skály v rokli PP Housle; Zdroj: vlastní foto,*

### 4.2.4 Pedologie

Hlavní půdní jednotkou vyskytující se v lokalitě a jejím okolí jsou kambizemě s celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy jsou zde méně až středně hluboké a méně produkční. Půdotvorným substrátem kambizemě je opuka nebo pískovec (VÚMOP, 2022; Česká geologická služba, 2022). Obě horniny tvoří geologické podloží Houslí (Moravec, 2015). Dalším, méně zastoupeným typem půdy v lokalitě jsou gleje – jílovitohlinité až jílovité půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu. (VÚMOP, 2022). Glejové půdy patří k semiterestrickým půdám (Petránek, 2016).

### 4.2.5 Klima

Dle Quitta (1971) leží celý Řípský bioregion v teplé oblasti T2. Pro bioregion je typické teplé suché podnebí. Území je vystaveno výraznému, převážně západnímu proudění. Chráněné polohy jsou především v hlubších údolích jižní části, kde se místy projevují teplotní inverze (Culek et al., 2013), což je i případ Houslí (Moravec, 2015). Pro posouzení zdejších podmínek byla analyzována data z nejbližší meteorologické stanice v Praze – Ruzyni, ležící ve vzdálenosti 7,6 km od Houslí. Ve srovnávacím období (1961–2020) činil průměrný roční úhrn srážek 510 mm, přičemž průměr ČR byl roven 675 mm. Průměrná denní teplota na v Ruzyni byla 8,5 °C, zatímco průměr ČR vychází na 7,84 °C. Z hodnocených dat je tedy zřejmé, že v porovnání s průměrnými klimatickými podmínkami ČR se jedná o sušší a teplejší oblast (ČHMÚ, 2021).

## 4.3 Sběr a zpracování dat

### 4.3.1 Technika pro sběr dat

**<u>Sensefly eBee X</u>**

eBee X je lehký bezpilotní letoun (Obrázek 8) vyvinutý švýcarskou firmou Sensefly. Jedná se o přístroj vhodný k aplikacím v mnoha odvětvích: zemědělství, zeměměřictví a mapování, dobývání nerostných surovin, humanitární pomoc, stavitelství či monitoring životního prostředí. Podle výrobce je dron schopen (v optimálních podmínkách, rovinatém terénu a prodloužené výdrži) na jedno nabití vydržet ve vzduchu až 90 minut, během kterých dokáže pokrýt území od maximální rozloze 500 ha s absolutní přesností až 3 cm bez pozemních vlícovacích bodů. Výhodou takovéhoto typu dronu oproti multikoptérám je schopnost ve stejném čase zmapovat téměř dvakrát rozsáhlejší území.

**Obrázek 8:** *Bezpilotní letoun Sensefly eBee X; Zdroj: bezpilotne.cz (2022)*

Technické parametry přístroje:

- Hmotnost: 1,4 kg
- Rozpětí křídel: 116 cm
- Motor: Elektrický bezkartáčový s nízkou hlučností
- Rozsah radiového spojení: 3 km nominálně (až 8 km)
- Rychlost letu: 40–110 km/h (11–30 m/s)
- Odolnost proti větru: Max. 46 km/h (12,8 m/s)
- Typ vypouštění: Ruční
- Typ přistání: Lineární příkré přistání (přesnost 5 m s úhlem 35°)

(Sensefly, 2022)

K plánování letových misí byl použit software eMotion X, poskytovaný taktéž společností Sensefly.

**<u>MicaSense RedEdge-MX</u>**

RedEdge-MX je precizní multispektrální senzor (Obrázek 9) pro pokročilé zemědělské analýzy od společnosti Sensefly. Snímá v pěti spektrálních pásmech (střed vlnové délky spektra [nm] ± odchylka [nm]):

- BLUE (475 nm ± 20 nm)
- GREEN (560 nm ± 20 nm)
- RED (668 nm ± 10 nm)
- RED EDGE (717 nm ± 10 nm)
- NIR (840 nm ± 40 nm)

Senzor tedy zachycuje spektrální pásma potřebná zejména pro analýzu vegetační vitality. Senzor je vybaven optimalizovaným prostorovým rozlišením 8 cm na pixel při výšce letu 120 m, kompozitním barevným obrazem RGB, globální závěrkou pro snímání bez zkreslení a přídavným světelným senzorem (DLS 2) pro vysoce přesné radiometrická kalibrace. Senzor má zorné pole 42,7°, váží 231 g, snímky jsou ukládány na SD kartu ve formátu TIFF (Sensefly, 2022).

**Obrázek 9:** *MicaSense RedEdge-MX; Zdroj: Sensefly.comc (2022)*

### 4.3.2 Průběh sběru a zpracování dat

Sběr dat byl naplánován do celkem pěti letových misí napříč vegetační sezónou 2021 (Tabulka 4). První nálet byl proveden 10.5., další následovaly v přibližně 1,5 měsíce dlouhých intervalech. Mise bylo vždy nutné přizpůsobit momentálním meteorologickým podmínkám, z toho důvodu byly intervaly ne vždy pravidelné, avšak pro účel práce dostačující. Délka 1,5 měsíce byla zvolena záměrně, tak aby mezi jednotlivými nálety byly pozorovatelné změny fenologického cyklu vegetace. Po důkladném terénním šetření bylo vybráno celkem pět druhů stromů, u nichž měl být sledován průběh spektrálních vlastností napříč vegetační sezónou. Výběr zahrnoval tři listnáče a dva jehličnany: javor klen (*Acer pseudoplatanus*), dub letní (*Quercus robus*), habr obecný (*Carpinus betulus*), smrk ztepilý (*Picea abies*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris)*. Výběr dřevin nebyl náhodný, všechny zahrnuté druhy mají odlišnou morfologickou stavbu a ve zkoumané lokalitě jsou nezanedbatelně zastoupeny. Velmi podstatným parametrem pro výběr byla také výška stromů. Koruny musely být i v hustém zápoji jednoznačně identifikovatelné ze vzduchu. Územně nebyl výběr omezen čistě na lokalitu přírodní památky, bylo do něj zahrnuto také přilehlé okolí, které společně s chráněným územím tvoří jednotný lesní komplex.

| Datum | Čas vzletu | Rychlost větru [m/s] | Oblačnost |
|---|---|---|---|
| 10.5. | 11:27 | 3 | Jasno |
| 29.6. | 15:00 | 2 | Zataženo |
| 19.8. | 13:55 | 7 | Zataženo |
| 30.9. | 10:40 | 8 | Skorojasno |
| 24.11. | 12:15 | 3 | Zataženo |

**Tabulka 4:** *Podmínky jednotlivých letových misí*

Pro každý z pěti druhů bylo vybráno 20 vzorků. Pozici těchto stromů bylo nutné geograficky přesně identifikovat. K tomu bylo využito geodetické GPS a letecké mapy. Zároveň panovala snaha zahrnout takové stromy, jejichž poloha byla snadno identifikovatelná i z leteckého snímku. Preferováni tak byli mohutnější jedinci či souvislé jednodruhové skupiny, jako tomu bylo např. u borovice či dubu.

Záměrem bylo vytvořit po každém náletu ortorektifikovanou mozaiku snímků (Obrázek 10), ze které bude možné odečíst hodnoty konkrétních pixelů ve všech snímaných pásmech. Proces tvorby ortomozaiek byl realizován metodou Structure from Motion prostřednictvím software Agisoft Metashape. Rozsáhlým experimentováním s kombinacemi nastavení konkrétních parametrů byl nakonec pro výpočet všech mozaiek stanoven jednotný postup. Po vyrovnání snímků bylo vypočteno řídké bodové mračno (Accuracy: High; Key point limit: 40 000; Tie point limit: 4 000). Následujícím krokem došlo k jeho zahuštění (Quality: High; Depth filtering: Mild). Obarvená bodová mračna bylo potřeba manuálně vyčistit od redundantních bodů, které by potenciálně mohly negativně ovlivnit kvalitu výstupu. Husté bodové mračno posloužilo jako podklad pro výpočet digitálního modelu povrchu v souřadnicovém systému WGS 84 (EPSG: 4326), k odhadu chybějících hodnot byla aktivována interpolace.

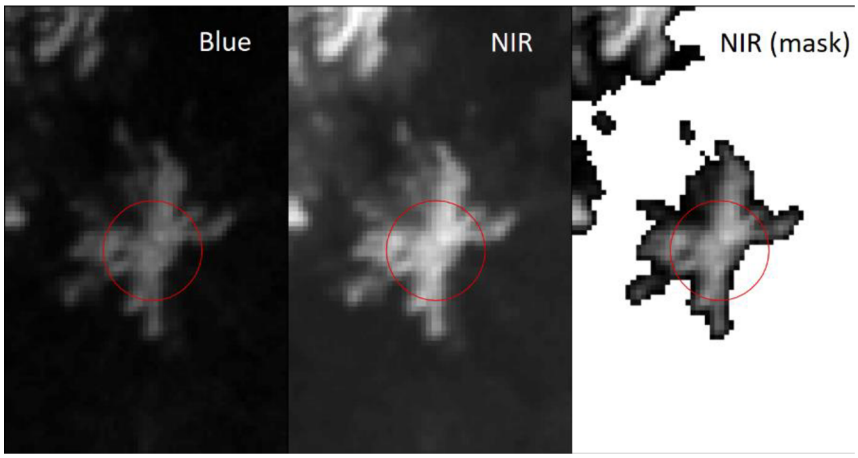
Světelné a atmosferické podmínky se mohou měnit během jednoho letu, natož mezi jednotlivými lety v různých časových obdobích. Při práci s optickými senzory je velmi důležité brát tento faktor v potaz, zejména pokud je cílem chronologická komparace snímků stejného území. Před samotným výpočtem ortofotomozaiek byla proto, za účelem dosažení kvalitních a radiometricky správných výsledků, provedena radiometrická kalibrace. Ke kalibraci byly použity před náletem pořízené snímky reflektančního panelu, který je výrobcem dodáván společně s multispektrální kamerou. Jedná se speciální šedou desku o známém albedu ve všech snímaných pásmech (B = 51,9 %; G, R, RE, NIR = 52,1 %). Na všech kalibračních snímcích byla pro každé z pěti spektrálních pásmem nastavena maska, tak aby do výpočtu vstupoval pouze reflektanční panel, a nikoliv jeho okolí. Dalším vstupem do kalibračního výpočtu jsou

hodnoty naměřené senzorem slunečního osvitu, kterým disponuje přímo letoun eBee X. Provedením kalibrace dochází k normalizaci hodnot jednotlivých pixelů v ortomozaice. Výstup by měl odpovídat reálnému stavu, očištěnému o vnější radiometrické vlivy.

V posledním kroku byla na základě digitálního modelu povrchu pro každé období vytvořena barevná ortofotomozaika ve formátu .tiff o rozlišení 10 * 10 cm. K dopočtu některých chybějících částí byla aktivována funkce Hole filling a jako výstupní souřadnicový systém byl použit WGS 84 / UTM zone 33N (EPSG: 32633). Po exportu ortofotomozaiek následoval proces georeference v programu ArcGIS Desktop.

**Obrázek 10:** *Výsledná ortofotomozaika pro srpnový nálet (RGB zobrazení)*

Převládající světelné podmínky se napříč nálety velmi lišily, proto i kvalita jednotlivých výstupů byla různá. Z hlediska relevantnosti vstupních dat bylo nutné nevyhovující (zastíněné) oblasti odstranit. Toho bylo dosaženo v programu ArcGIS Desktop metodou prahování (treshholding), což je jedna ze základních metod pro segmentaci obrazu. Pro identifikaci pixelů s nevyhovujícími hodnotami jasu bylo použito NIR pásmo, které nabízí nejvíce kontrastní pohled na zachycenou scénu (Obrázek 11). Z každé mozaiky tak byl odstraněn vždy různý počet pixelů (Příloha 4), které by mohly negativně ovlivnit výsledky.




**Obrázek 11:** *Ukázka smrku ztepilého v pásmu modrém a NIR, odmaskování zastíněných pixelů (září 2021)*

Nad stovkou vybraných stromů byly vytvořeny kruhové polygony vycentrované přibližně na střed koruny a o poloměru 1 metr. Následně byly pomocí nástroje zonální statistiky v programu QGIS pro každou vzorkovou plošku zvlášť po jednotlivých pásmech spočítány parametry jako medián, směrodatná odchylka, počet pixelů a minimální/maximální hodnota. K dalšímu zpracování dat byl použit software MS Excel. Z mediánových hodnot odrazivosti byly v jednotlivých měsících pro každý druh stromu po jednotlivých pásmech spočítány průměry (Příloha 1). Vynesením těchto hodnot do grafu byly následně generovány spektrální křivky. V průběhu vegetační sezóny byly sledovány také meteorologické podmínky (srážky, teplota vzduchu) na nedaleké meteostanici provozované katedrou agroekologie a biometeorologie na Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze.

### 4.3.3 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) je v současné době nejvyužívanějším vegetačním indexem. Tento index indikuje množství zelené vegetace nacházející se v konkrétním pixelu a nabývá hodnot od -1 do 1. Výpočet NDVI spočívá v poměru rozdílu a součtu pásem NIR a RED (Rovnice 3). NDVI je využíván zejména pro indikaci změn klimatu, je vhodný k mapování zdravotního stavu vegetace, monitoringu fyziologického stresu rostlin, odhadům výnosů zemědělských plodin atd. Hodnoty blížící se + 1 odpovídají velmi husté vegetaci, zatímco hodnoty kolem 0 vypovídají o její nepřítomnosti. Index koresponduje se změnami odehrávajícími se v průběhu vegetační sezóny, což je při hodnocení výsledků třeba brát v potaz. Index je poměrně náchylný na externí faktory, jako vliv půdy atd. K omezení nežádoucího zkreslení je v problémových oblastech možné využít modifikovaných normalizovaných vegetačních indexů, zaměřených na konkrétní problémové jevy (Rouse et al., 1974; Jones et Vaughan, 2010; Dobrovolný, 1998; IDB, 2021).

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

**Rovnice 3:** *Normalized difference vegetation index (NDVI)*

Nejefektivnější využití NDVI spočívá v analýze časového vývoje. Index je vhodný ke sledování sezónních výkyvů způsobených obdobími sucha nebo deště. Indikuje také prostorový rozsah vegetace a je možné jej využít k hodnocení změn krajinného pokryvu (Acker et al., 2014).

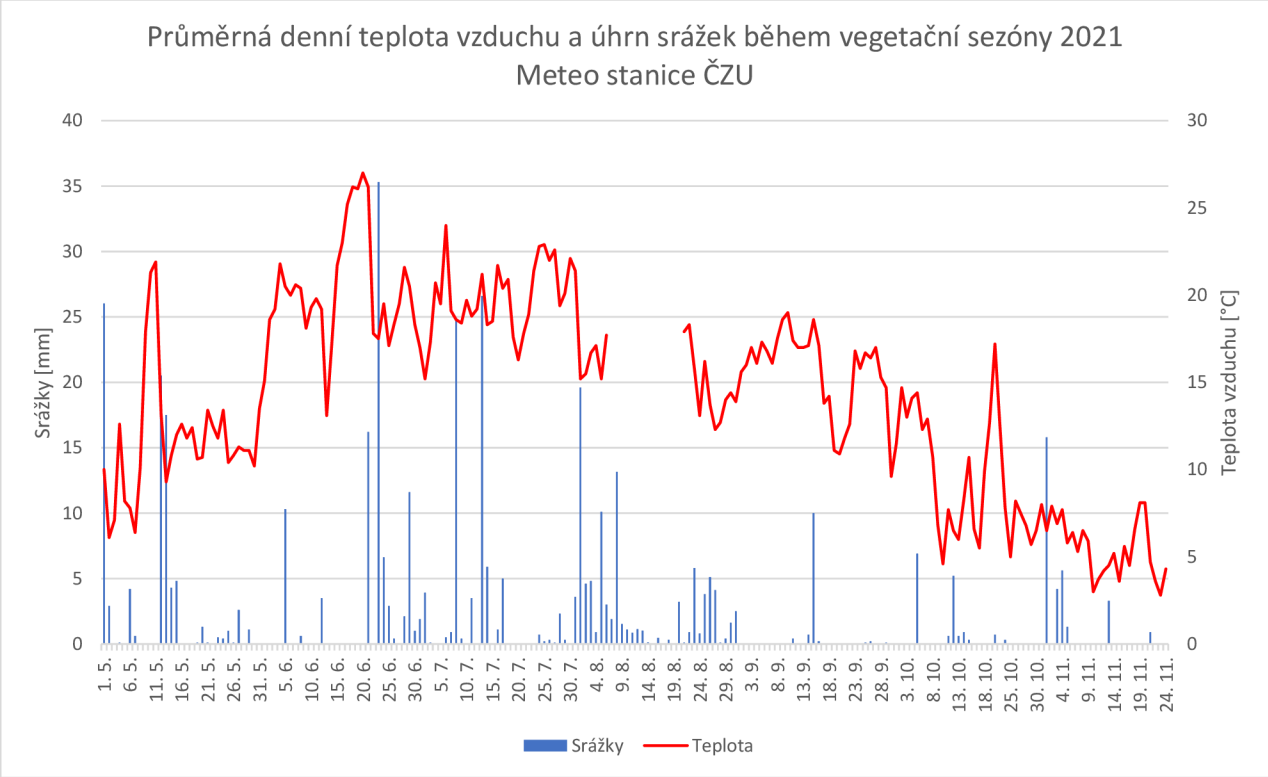
# 5 Výsledky

## 5.1 Meteorologické podmínky

Největší květnový úhrn srážek byl zaznamenán hned první den (26,01 mm). Zbývající dny do prvního náletu (10.5.) však žádné další větší srážky nepřinesly. Teploty vzduchu se již bezpečně pohybovaly nad nulou. Poslední mráz zde byl zaznamenán v noci z 6. na 7. dubna. Největší intenzita květnových srážek byla zaznamenána zhruba v polovině měsíce, tomu předcházel výrazný nárůst průměrné denní teploty (Graf 3). Ve druhé polovině května došlo k útlumu obou sledovaných parametrů.

Znatelné oteplení na začátku června žádným výraznějším deštěm provázeno nebylo. Nejteplejší a zároveň nejbohatší na srážky za celé vegetační období byla druhá polovina června a první polovina července. V týdnu před červnovým náletem na lokalitě pršelo téměř každý den. 23.6. byl navíc zaznamenán nejvyšší denní úhrn srážek za celou vegetační sezónu (35,3 mm), čemuž předcházela také nejvyšší průměrná denní teplota (26,2 °C). Přelom července a srpna byl na srážky poměrně bohatý. Posledních 10 dnů bezprostředně před náletem však nijak vydatně nepršelo a celkový úhrn činil pouze 4,97 mm. Teplota v tomto období zůstala z provozních důvodů nezaznamenána.

Září bylo na lokalitě na srážky obecně chudé (11,7 mm), průměrná denní teplota pro celý měsíc činila 15,7 °C. Z hlediska srážek nebyl ani říjen příliš bohatý, zato průměrná denní teplota byla velmi variabilní, z 5,5 °C se během čtyř dnů zvýšila na 17,2 °C. První mrazíky byly zaznamenány v nočních hodinách 10.10. Větší srážky přišly až během prvního listopadového týdne, zbytek měsíce byl víceméně suchý. Průměrné denní teploty se v první polovině pohybovaly v rozmezí 3 – 7,9 °C s klesajícím trendem. Ve druhé polovině došlo k jejich skokovému nárůstu (8 °C) a následně opět k poklesu.

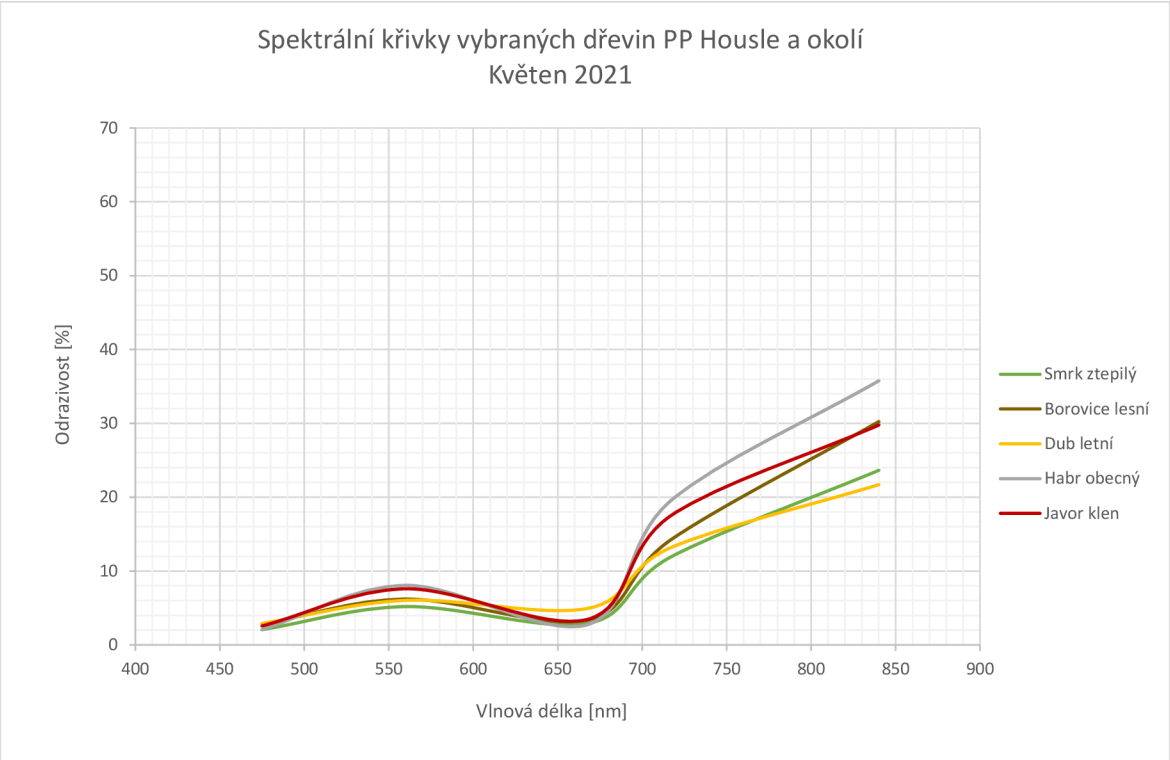



**Graf 3:** *Vývoj průměrné denní teploty a denního úhrnu srážek během vegetační sezóny 2021; Zdroj: meteostanice ČZU FAPPZ, vlastní zpracování*

## 5.2 Spektrální křivky podle jednotlivých náletů

### 5.2.1 Nálet č.1 (Květen)

Při analýze dat z prvního náletu byla u všech dřevin zaznamenána nejnižší odrazivost (cca 2 %) v modré části spektra (Graf 4). V zeleném pásmu je možné pozorovat menší odlišnosti, vyšší odrazivost vykazovaly listnaté stromy kromě dubu, jehož hodnoty byly podobné spíše jehličnanům (cca 6 %). Dub se odlišoval i v červené části spektra (4,94 %). U ostatních dřevin byla naměřena odrazivost podobná, kolem 3 % (Příloha 1). V RE pásmu odrazivost sílila a začínaly se zde objevovat zřetelné rozdíly (rozpětí 7,61 %) mezi jednotlivými druhy. Ještě výraznější rozdíly je možné vidět v pásmu NIR, kde stejně jako v RE části spektra vykazoval nejvyšší odrazivost (35,75 %) habr obecný, nejnižší pak dub letní (21,71 %). Křivky všech dřevin odpovídaly fyziologickému průběhu spektrální křivky vegetace, přičemž nejvíce odchylný průběh byl patrný u dubu, jehož křivka měla neplošší a nejméně dynamický průběh.



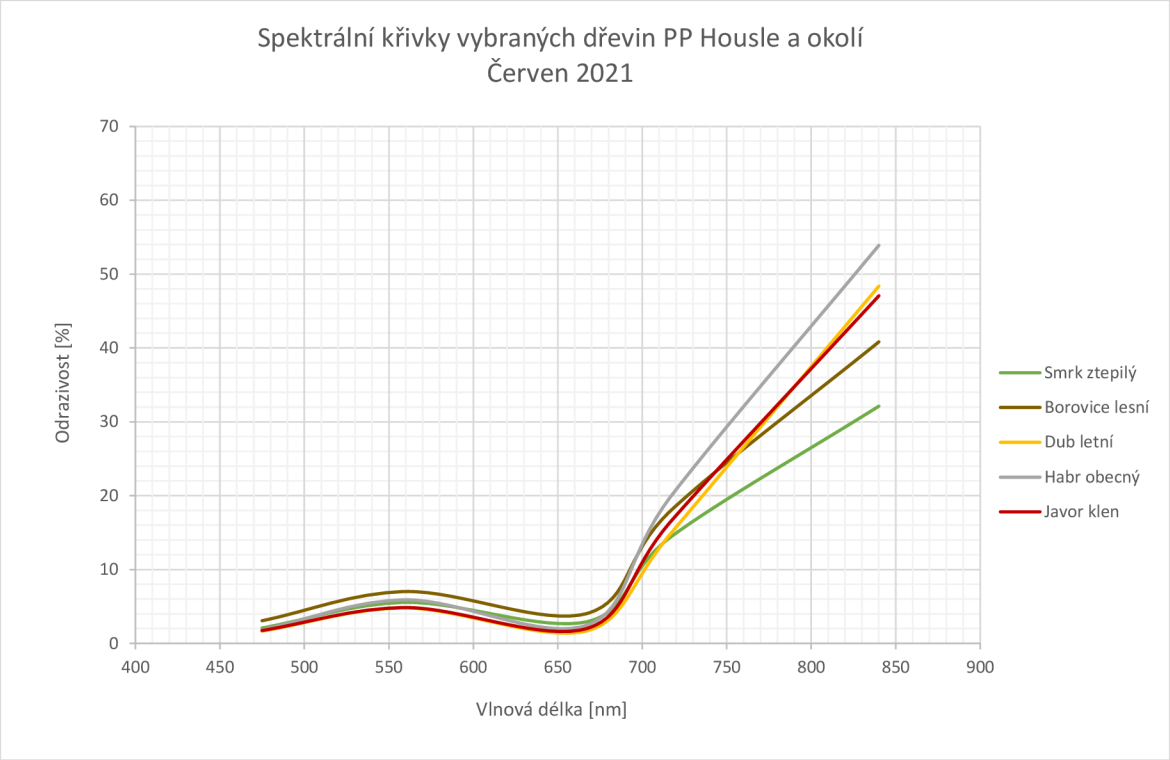

**Graf 4:** *Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (Květen 2021)*

Celkový počet vstupních pixelů do výpočtu byl po odstranění zastíněných částí roven 23 919 (Příloha 4). Počet pixelů pro jednotlivé druhy dřevin byl podobný. K největší redukci došlo u porostu smrku (zbývajících 4 565 px), k nejmenší naopak u habru

(zbývajících 4 851 px). Nejvyšší směrodatné odchylky byly u všech stromů napříč pásmy naměřeny v NIR (Příloha 3), přičemž nejvyšší odchylka byla zjištěna u habru (5,66 %).

### 5.2.2 Nálet č. 2 (Červen)

Z červnových výsledků opět vyplývá, že všechny křivky odpovídaly fyziologickému průběhu spektrální křivky vegetace (Graf 5). Oproti předchozímu měsíci byl nejvýraznější změnou nárůst odrazivosti v pásmu NIR u všech stromů, u habru dosahovala téměř 54 %, u smrku pak 32,12 % (Příloha 1). Hodnoty v ostatních pásmech byly u všech dřevin kromě dubu téměř stejné jako v předchozím měsíci. Oproti květnu zde měla křivka dubu podobně dynamický průběh jako ostatní stromy, u kterých v pásmech kromě NIR nedošlo k žádným zásadním změnám a jejich hodnoty byly vzájemně podobné. Ve viditelné části spektra si lze všimnout lehkého posunu výše u odrazivosti borovice (přibližně 2-3 % nad ostatními stromy). K obratu došlo až v pásmu NIR, kde byl jasně patrný rozdíl mezi odrazivostí jehličnatých a listnatých stromů.

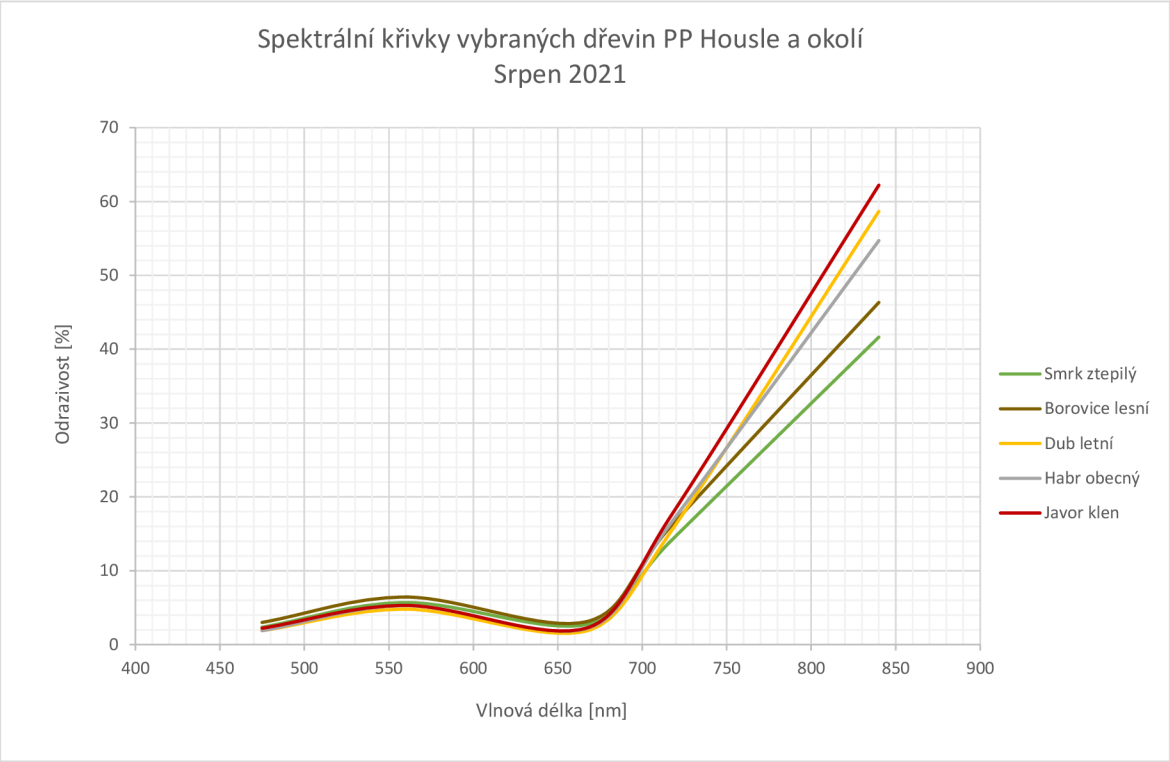



**Graf 5:** *Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (Červen 2021)*

Celkový počet pixelů pro jednotlivá pásma u všech dřevin byl po odstranění stínů roven 26 170 (Příloha 4), přičemž u smrku došlo k výraznější redukci (zbývajících 4 097 px) než u ostatních dřevin (všechny okolo 5 500 px). Napříč pásmy také většinou vzrostla průměrná směrodatná odchylka, nejvíce v pásmu RE a NIR (Příloha 3).

### 5.2.3 Nálet č. 3 (Srpen)

Po odstranění stínů z ortomozaiky srpnového náletu byl celkový počet pixelů, zahrnutých do výpočtu u všech dřevin pro každé samostatné pásmo, roven 29 731 (Příloha 4). Nejvíce použitelných pixelů zůstalo javoru (6 020) a nejméně borovici (5 734). Co se týče odrazivosti, hodnoty ve viditelné části spektra se oproti předchozímu náletu změnily pouze minimálně (v řádu desetin %) a variabilita napříč stromy byla nízká (Graf 6). Z chronologického hlediska představoval výraznější odchylku ve VIS pouze habr, u něhož byla zaznamenána odrazivost v okrajovém červeném pásmu téměř o 3,5 % nižší než v červnu (Příloha 1). Také relativní rozdíl v odrazivosti borovice ve VIS se oproti červnu snížil a všechny dřeviny vykazovaly velmi podobné hodnoty o téměř stejné dynamice. Výrazný zlom nadešel až mezi RE a NIR, kde křivka nabrala na vzestupu a mezi dřevinami se zde projevily znatelné rozdíly. Opět byla patrná diference mezi listnatými a jehličnatými stromy a zároveň borovice znovu vykazovala vyšší odrazivost v NIR (46,32 %) než smrk (41,66 %). Nejvyšší odrazivost byla změřena u javoru (62,22 %), dále u dubu (58,67 %) a habru (54,71 %).

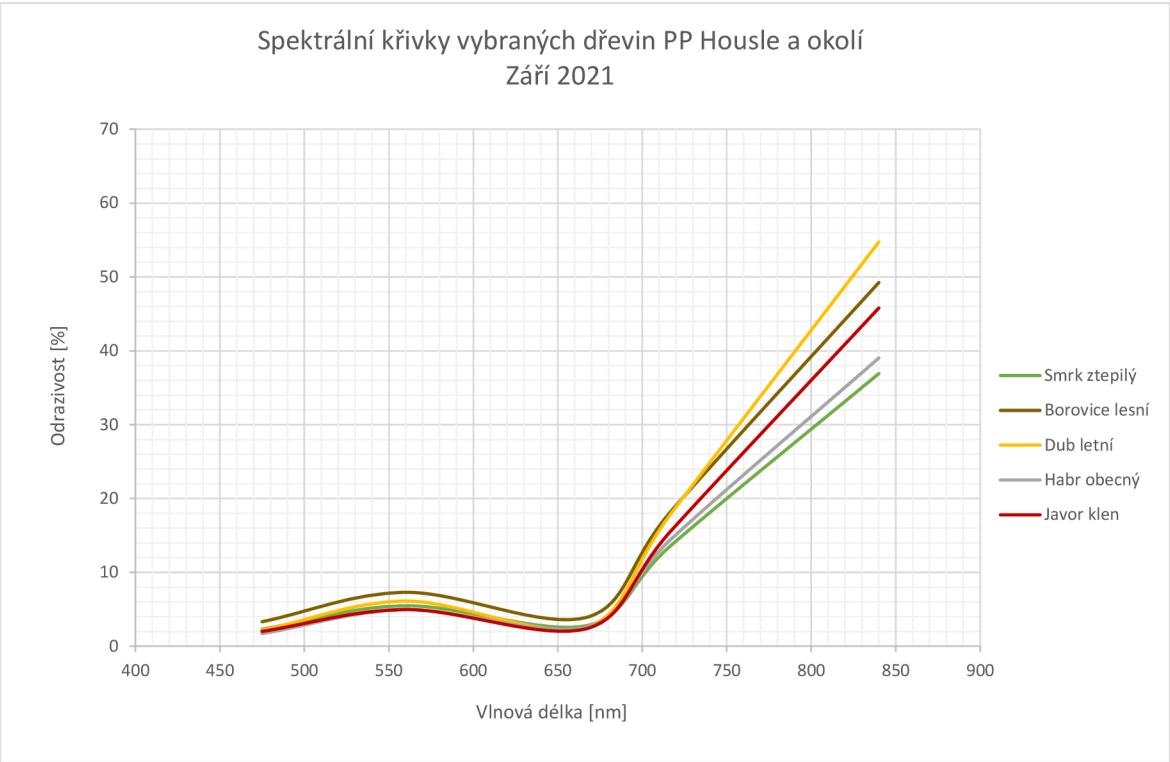



**Graf 6:** *Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (Srpen 2021)*

### 5.2.4 Nálet č. 4 (Září)

První podzimní sběr dat provázely nepříliš příznivé světelné podmínky, které zapříčily nezanedbatelné zastínění na jedné a značné přesvětlení na druhé straně. Směrodatné odchylky napříč spektrem byly u všech druhů dřevin vyšší oproti ostatním náletům (Příloha 3). Nejvyšší průměrná směrodatná odchylka vyšla u všech dřevin v pásmu NIR, u dubu letního dosahovala 20,67 %, u ostatních dřevin zhruba polovičních hodnot. Dub vykazoval vyšší odchylky také v pásmech VIS. Po odstranění stínů zbylo pro výpočet v každém pásmu 25 555 pixelů (Příloha 4), přičemž největší redukce byla nutná v korunách borovice (použitelných 4 437 px), nejmenší pak u dubu (použitelných 5 472 px).

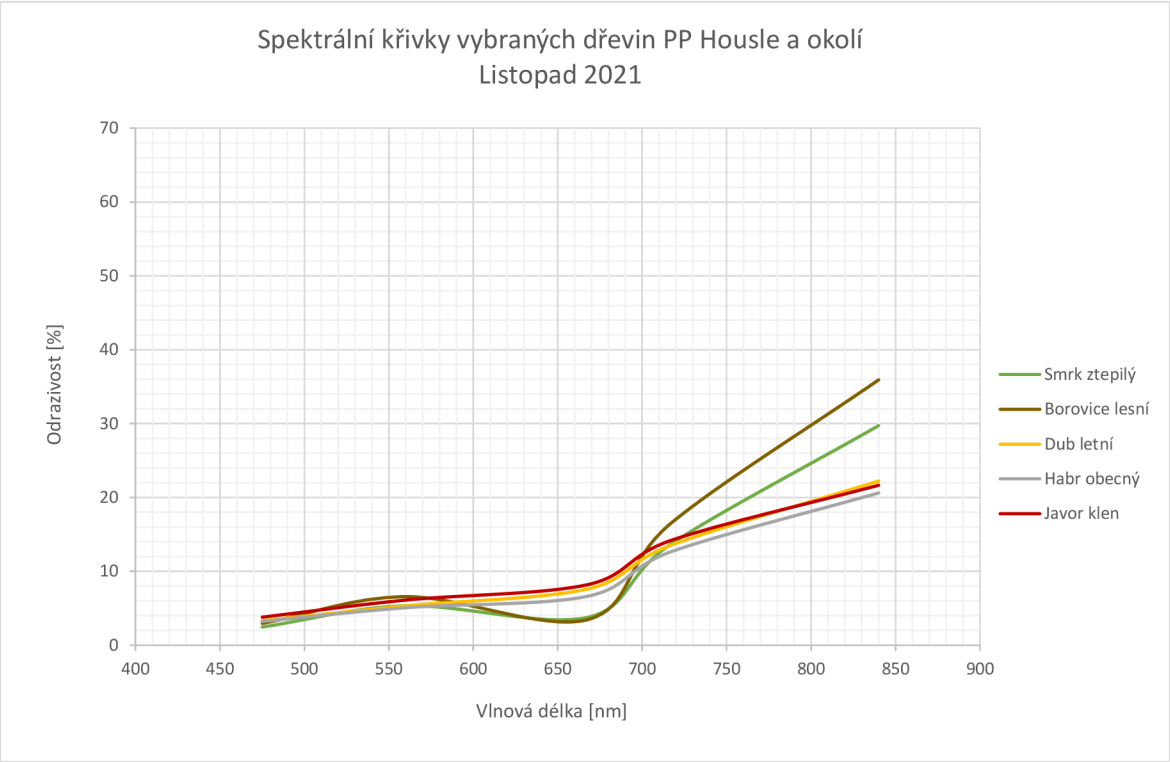
Z hlediska odrazivosti ve VIS oproti předchozímu měsíci byl patrný pozitivní posun borovice a dubu (Graf 7), ostatní dřeviny zaznamenaly spíše mírný pokles. Jasně nižší oproti předchozímu měsíci byla odrazivost v NIR u všech stromů, kromě borovice, kde hodnota naopak vzrostla o 2,91 % (Příloha 1). Jedná se tak o první nálet, kde nebyl zřetelný rozdíl mezi listnáči a jehličnany. Variabilita hodnot jednotlivých stromů v NIR byla oproti ostatním pásmům opět značná.




**Graf 7:** *Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (Září 2021)*

### 5.2.5 Nálet č. 5 (Listopad)

Po odstranění zastíněných částí ortomozaiky zůstalo pro výpočet spektrálních charakteristik z posledního náletu celkem 24 726 pixelů (Příloha 4). Z grafu č. 8 je na první pohled patrný rozdíl vůči předchozím náletům. Přestože u obou jehličnanů došlo k poklesu v pásmu NIR (smrk 29,72 %, borovice 35,91 %), hodnoty v ostatních pásmech se změnily minimálně (Příloha 1) a tvar stále odpovídal fyziologické křivce vegetace. Křivky listnatých stromů odpovídaly konstantnímu nárůstu hodnot od modrého pásma po NIR. U obou jehličnanů byla také v RE (borovice 2,41 %, smrk 2 %) a NIR (borovice 5,22 %, smrk 4,23 %) změřena násobně vyšší směrodatná odchylka než u listnáčů (Příloha 3).

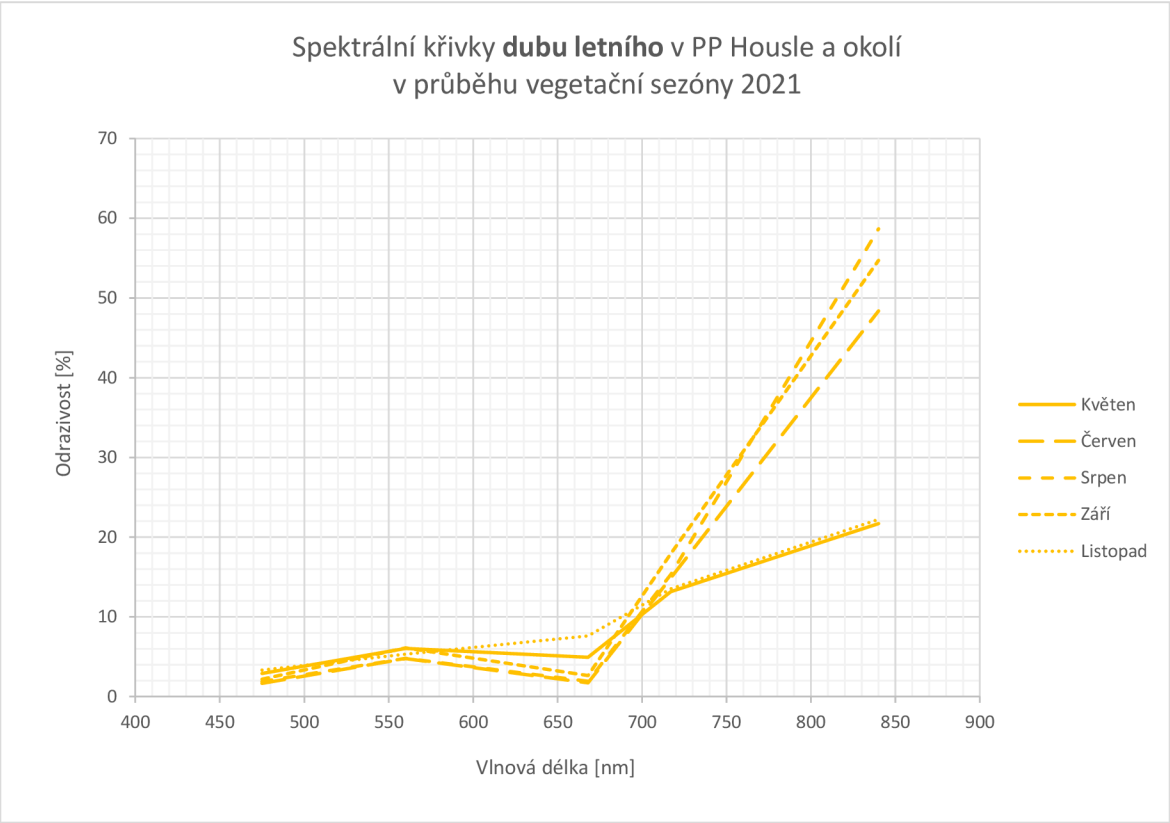



**Graf 8:** *Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (Listopad 2021)*

## 5.3 Spektrální křivky podle jednotlivých stromů

### 5.3.1 Spektrální křivky dubu letního

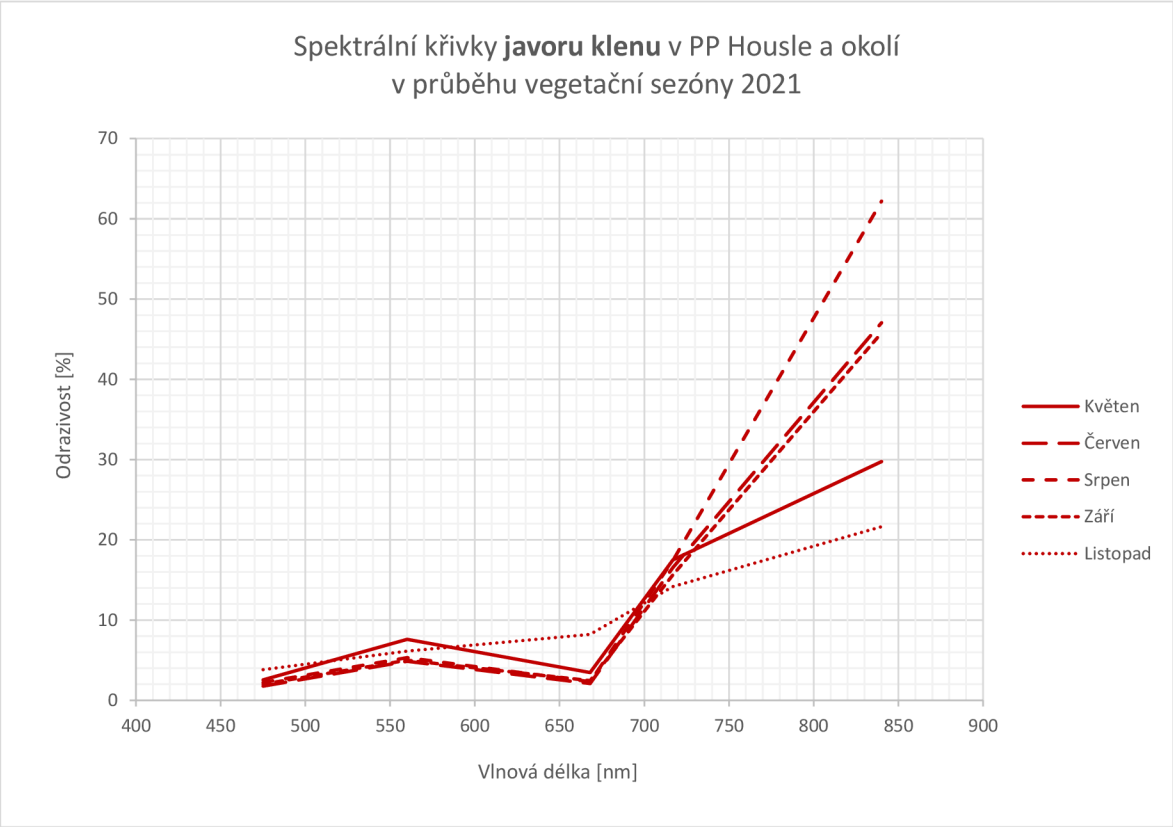
U dubu byla ve všech měsících zjištěna velmi podobná odrazivost v modré (rozpětí 1,68 %) a zelené části spektra (rozpětí 1,35 %) (Graf 9). Změna nastala v červeném pásmu, kde listopadová hodnota dosahovala maxima 7,62 %, pod ní byla hodnota z května (4,94 %) a ostatní tři měsíce byly ještě o více než 3 % níže. Květnové a listopadové hodnoty v pásmu RE a NIR byly na téměř stejně nízké úrovni (kolem 22 %). Z květnové mozaiky bylo zároveň, za účelem odstínování, odstraněno výrazně více pixelů než v ostatních měsících (Příloha 4). Maximum v NIR bylo změřeno na vrcholu vegetační sezóny v polovině srpna (58,67 %), o 4 % nižší hodnota vyšla v září. Kromě prvního a posledního měřeného měsíce odpovídají všechny křivky dubu fyziologickému tvaru spektrální křivky vegetace.




**Graf 9:** *Spektrální křivky dubu letního v PP Housle a okolí (2021)*

### 5.3.2 Spektrální křivky javoru klenu

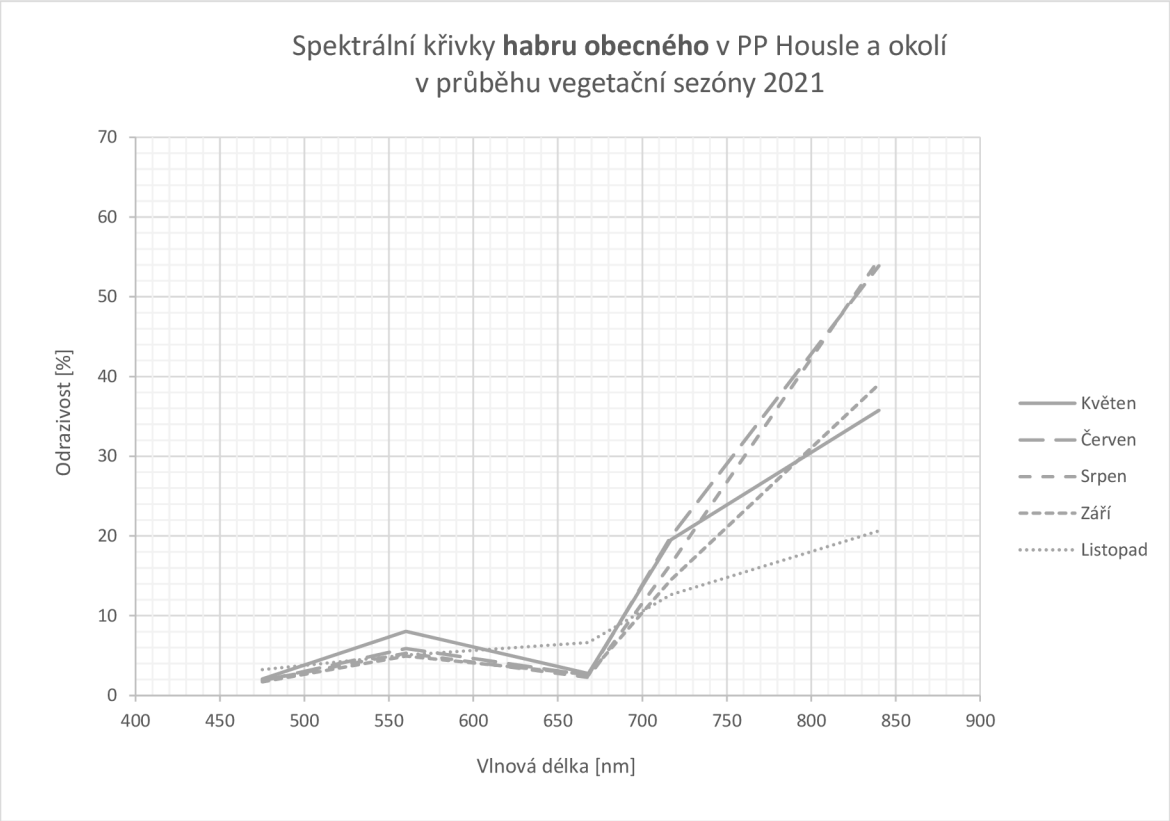
Křivky ve všech měsících, až na poslední, měly průběh typický pro vegetaci (Graf 10). Nadprůměrné hodnoty ve viditelné části spektra byly naměřeny už po prvním květnovém náletu. Hodnoty z června, srpna a září byly napříč VIS téměř shodné: BLUE cca 2 %, GREEN cca 5 %, RED cca 2 %. V RE již došlo k většímu rozestupu, který gradoval v pásmu NIR. Tam byla maximální hodnota naměřena v srpnu (62,22 %), naopak nejmenší hodnota vyšla v listopadu (21,65 %). Množství odraženého světla v NIR bylo v červnu a září téměř stejné (47,06 a 45,8 %) (Příloha 1). Z hlediska odstranění pixelů s nevyhovujícím jasem došlo k největší redukci z listopadové ortomozaiky (4 216 vyhovujících px), nejmenší redukce byla naopak potřebná v srpnové mozaice (6 020 vyhovujících px).




**Graf 10:** *Spektrální křivky javoru klenu v PP Housle a okolí (2021)*

### 5.3.3 Spektrální křivky habru obecného

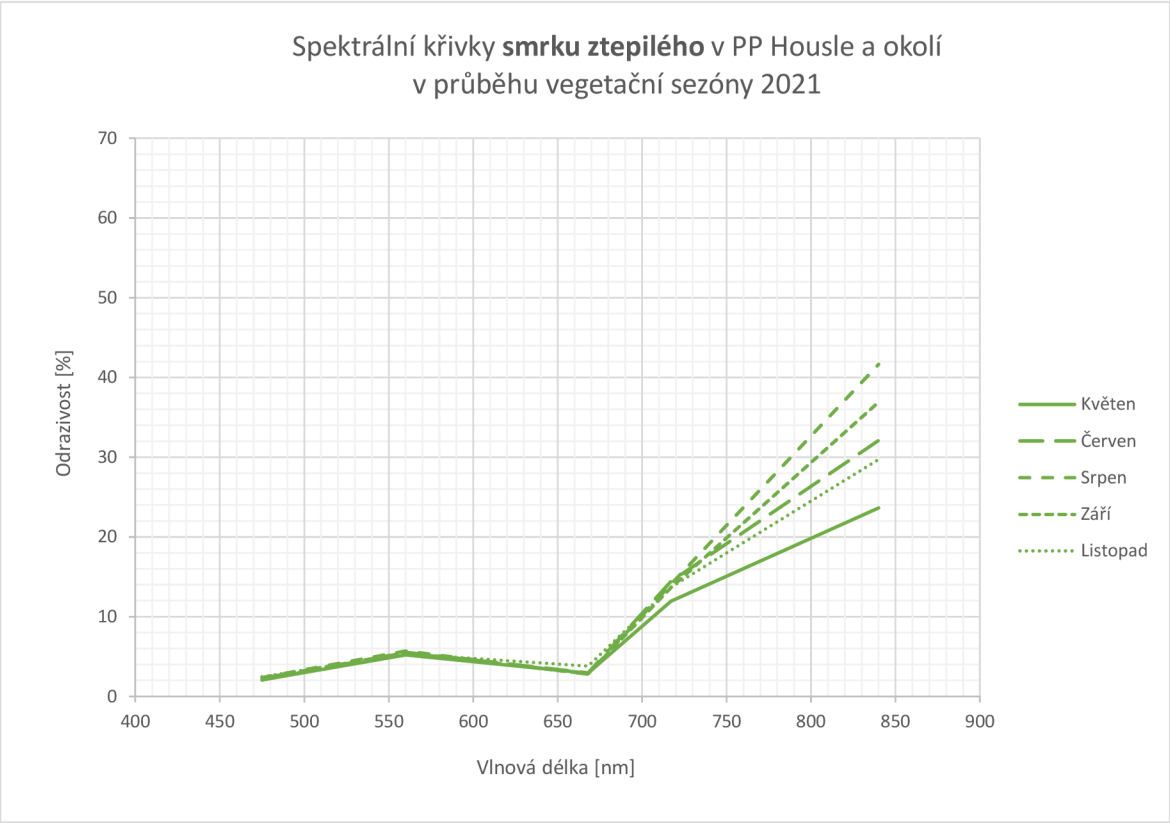
Křivky spektrální odrazivosti habru obecného vykazovaly, opět až na listopad, typický průběh pro vegetaci (Graf 11). Stejně jako u javoru, odrazivost v modré (cca 2 %) a červené (cca 2,5 %) části spektra byla u prvních čtyř měsíců téměř stejná. V zeleném pásmu se nadprůměrně odlišovaly květnové hodnoty (8,05 %). V pásmech RE a NIR opět došlo k vyššímu rozptylu hodnot. Maxima v NIR bylo dosaženo v červnu (53,89 %) a srpnu (54,71 %). Naopak nejnižší výsledek v tomto pásmu byl změřen v listopadu (20,63 %), zhruba uprostřed se pak nacházely hodnoty z května a září. Největší počet pixelů zahrnutých do výpočtu zůstal po odstranění zastíněných ploch v srpnové ortomozaice (5 977 px), nejmenší naopak v květnové (4 851 px) (Příloha 4).




**Graf 11:** *Spektrální křivky habru obecného v PP Housle a okolí (2021)*

### 5.3.4 Spektrální křivky smrku ztepilého

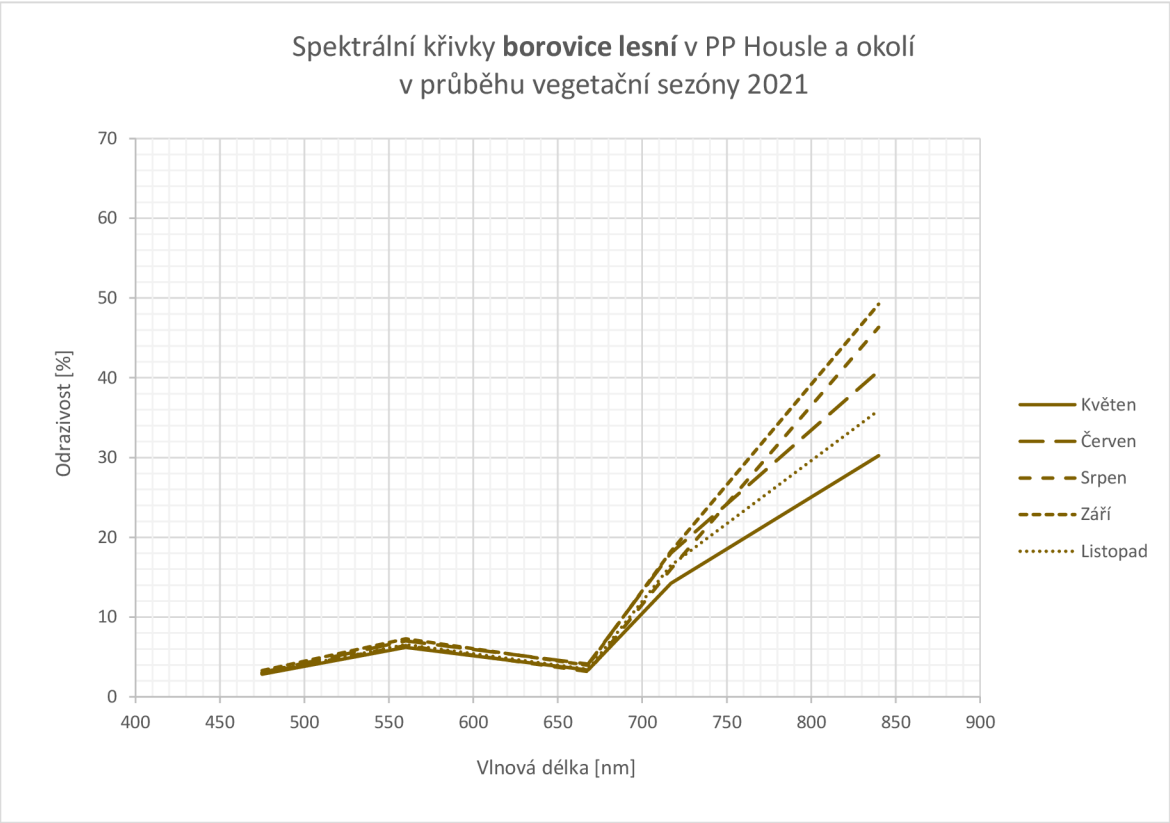
Rozdíly spektrální odrazivosti smrku ve viditelné části spektra byly v průběhu vegetační sezóny 2021 pouze minimální (Graf 12). Nejmenší hodnota v modrém pásmu byla naměřena shodně v květnu a červnu (2,07 %), naopak nejvyšší v listopadu (2,46 %). Malý rozdíl (0,51 %) mezi maximální a minimální změřenou hodnotou panoval i v zeleném pásmu (Příloha 1). V červené části spektra došlo k menšímu vychýlení (cca o 1 %) v listopadu. Poměrně konzistentní průběh napříč měsíci lze pozorovat i v červené okrajové části spektra, kde se vychylovala pouze květnová hodnota. K vyššímu rozptylu hodnot došlo až v pásmu NIR: květen 23,63 %, červen 32,12 %, srpen 41,66 %, září 36,92 % a listopad 29,72 %. U smrku byl za celou sezónu, vlivem redukce stínů, odstraněn nejvyšší počet plochy (vyhovujících 24 083 px). Nejvíce pixelů vstupujících do výpočtu bylo zaznamenáno v srpnu (6 018 px), v červnu a listopadu to byla přibližně o jednu třetinu nižší hodnota (Příloha 4).




**Graf 12:** *Spektrální křivky smrku ztepilého v PP Housle a okolí (2021)*

### 5.3.5 Spektrální křivky borovice lesní

Průběh spektrálních křivek borovice byl v zásadě stejný jako u smrku (Graf 13). Všechny hodnoty v modrém pásmu se pohybovaly blízko 3 % (Příloha 1). V zeleném pásmu byl zaznamenán pozvolný nárůst (srpen 6,43 %, září 7,29 %) a v červeném rovnoměrný pokles. Větší variabilitu lze pozorovat až v červeném okrajovém pásmu. Nejvíce se hodnoty jednotlivých měsíců lišily v pásmu NIR: květen 30,32 %, červen 40,84 %, srpen 46,32 %, září 49,23 %, listopad 35,91 %. Po redukci území s nevyhovující hodnotou jasu zbylo nejvíce pixelů vstupujících do výpočtu v srpnové ortomozaice (5 734 px), nejméně pak v zářiové (4 437 px) (Příloha 4).

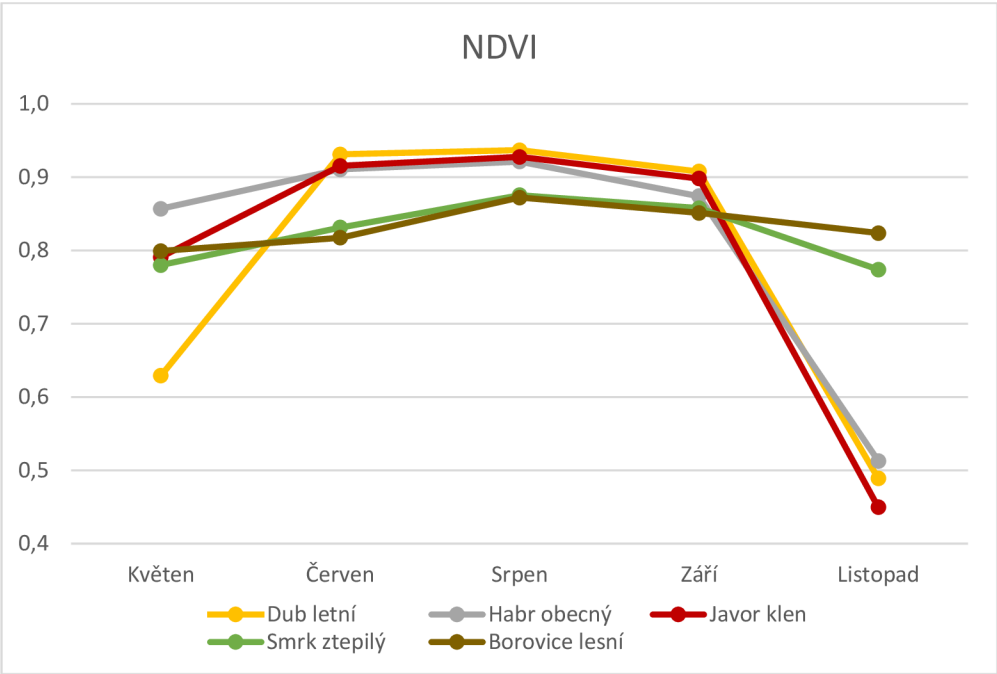



**Graf 13:** *Spektrální křivky borovice lesní v PP Housle a okolí (2021)*

## 5.4 Vývoj NDVI napříč vegetační sezónou

Vývoj NDVI plně koresponduje s výše popsaným průběhem odrazivosti v pásmu červeném a NIR. V květnu, jako jediném měsíci, nebyly patrné rozdíly mezi listnáči a jehličnany (Graf 14). Borovice, smrk a javor dosahovaly hodnoty přibližně 0,8 (Příloha 2), nejvýše byl habr (0,86) a s hodnotou 0,63 vybočoval dub. V červnu a srpnu už jehličnaté a listnaté stromy tvořily dvě samostatné skupiny. Listnáče se v hodnotách pohybovaly lehce přes 0,9, jehličnany o desetinu níže. Ze srpnového náletu vyplývá, že každá ze skupin stále držela pohromadě

a rozdíl mezi nimi se snížil přibližně na 0,05. Srpen byl zároveň vrcholem zjištěného NDVI pro celou vegetační sezónu. Nejvyšší hodnoty (0,94) dosahoval dub letní. V září došlo k poklesu u všech druhů, největší rozdíl (0,05) byl zaznamenán u habru, který se hodnotami přiblížil spíše jehličnanům. Až na tuto výjimku zůstaly obě skupiny konzistentní. Z listopadových dat je patrný největší rozdíl mezi oběma skupinami, které jsou stále zřetelně rozeznatelné, avšak jsou v rámci nich znát rozdíly. Zejména u jehličnanů došlo k největší diferenci za celou vegetační sezónu (0,05).




**Graf 14:** *Vývoj NDVI zájmových dřevin v průběhu vegetační sezóny 2021*

# 6 Diskuse

Sběr dat pomocí UAV je vždy náchylnější k ovlivnění lokálními podmínkami, než je tomu například u dat satelitních. V krajních situacích je nutné naplánovanou misi odložit, případně provést znovu. První nálet byl ve skutečnosti proveden už 4.5., snímky však byly hrubě ovlivněny silným větrem (13 m/s) a mise tak byla úspěšně zopakována až o šest dnů později.

Dalším ze zásadních faktorů, které se přímo podepisují na výsledných hodnotách, je oblačnost. Nenadálé výkyvy světelných podmínek mohou mít za následek, že hodnoty homogenního povrchu v rámci jedné ortomozaiky jsou výrazně odlišné, a to v závislosti na momentálním osvitu dané letové linie. Tento faktor je třeba vždy brát v potaz, zejména má-li dojít k výběru reprezentativních vzorků. Pokud je to možné, je lepší se problematické oblasti zcela vyhnout. Zmíněná situace nastala při druhém náletu na konci června (Příloha 6), všechny plošky byly proto záměrně umístěny mimo tento prostor. U ostatních letů se tento problém nevyskytoval. V ideálním případě by měl každý nálet probíhat za konzistentních světelných podmínek. V reálné praxi je však dosažení takového cíle velmi obtížné. Poslední, listopadová mise proběhla poprvé už 17.11. Nepříznivé světelné podmínky však měly na výsledné snímky tak negativní vliv, že bylo nutné misi zopakovat o týden později. Teplota se již dlouhodobě pohybovala pod 10 °C a opad listí se blížil 100 %, podmínky odpovídaly konci fenologického podzimu (Fenofáze, 2022)

Při hodnocení dat různých druhů dřevin je třeba brát v potaz jejich odlišnou morfologii, od které se odvíjí distribuce slunečního záření napříč korunou. Aby nedošlo k negativnímu ovlivnění výsledků zastíněnými částmi, byla v každé jednotlivé ortomozaice provedena redukce pixelů s nevyhovující hodnotou pomocí metody prahování (treshholding) v pásmu NIR (Obrázek 11). NIR je v praxi běžně využíváno k detekci stínů, nabízí větší kontrast objektů s variabilním jasem než pásma VIS. V odborné literatuře lze dohledat příklady použití tohoto pásma k tvorbě algoritmů pro detekci stínů (Bochow et al., 2011; Adeline et al., 2013; Rüfenacht et al., 2014).

Nejvíce pixelů za celou vegetační sezónu bylo odstraněno u smrku, což odpovídá nepravidelné struktuře a rozvětvení jeho koruny při pohledu shora. I po „odstínování“ zůstává v hodnotách pixelů napříč jednotlivými druhy i nálety různě vysoká variabilita (Příloha 3). Nejvyšší směrodatná odchylka byla u všech dřevin ve všech obdobích spočítána v pásmu NIR, což potvrzuje fakt, že se jedná o nevíce kontrastní pásmo. Zvláště při vysokém osvětlení kompozice, které panovalo při zářijovém náletu, je patrný nerovnoměrný osvit napříč korunami

stromů. Tomu odpovídají směrodatné odchylky násobně vyšší než v ostatních měsících. Například u dubu se směrodatnou odchylkou přesahující 20 % je patrné, že vrchol koruny je přesvětlený, zatímco nižší partie zůstávají tmavší. Snímané duby mají zároveň menší a prostorově variabilnější korunu než klen a habr, což dává podobným odchylkám prostor.

I přes snahu o optimalizaci metodiky za účelem minimalizace chyb způsobených vnějšími vlivy je třeba brát výsledky s lehkou rezervou. Vzhledem ke způsobu pořízení dat je nutné hodnoty spektrální odrazivosti jednotlivých dřevin vnímat jako orientační, nelze s jistotou tvrdit, že odpovídají reálnému stavu. Větší váhu by podobnému výzkumu dodalo sekundární měření pomocí pozemního spektrometru. To však přesahuje rámec této závěrečné práce, pro kterou je podstatný i relativní průběh spektrálních křivek a jejich dynamika v průběhu vegetační sezóny, zcela odpovídající teoretickým předpokladům.

Potvrdilo se, že chlorofyly pohlcují sluneční záření v modrém (475 nm) a červeném spektru (668 nm) (Pavlová, 2006), které dokážou využít pro fotosyntézu (Roman et Ursu, 2016), zatímco zelené (560 nm) odráží (Pavlová, 2006). Jako pravdivý se také ukázal být předpoklad, že na NIR reagují rostliny odlišným způsobem než na VIS (Acker et al., 2014). Vyšší odrazivost bylo možné pozorovat už v RE (717 nm) pásmu, maxima pak všechny křivky dosáhly v NIR (840 nm). NIR je totiž vegetací většinou odráženo zpět do prostoru a vnitřní struktura zdravého listu působí jako jeho rozptylovač (Aggarwal, 2004). Stejné schéma vegetační křivky se během roku opakovalo v různých variantách. Jedinými anomáliemi byly listopadové hodnoty všech tří listnáčů. Naměřené hodnoty odpovídají spíše větvím, spadanému listí a hlíně. Naopak, poměrně konzistentní vývoj vyšel u obou neopadavých jehličnanů.

Lehce atypickou křivku lze pozorovat i v květnových datech u dubu, kde odrazivost v NIR byla nižší než u jehličnanů. Příčina tohoto jevu tkví naopak v nedostatku olistění dubu letního v zájmové lokalitě v daný termín (Příloha 5). Kromě zmíněných případů měly křivky vypovídající hodnoty. K největším mezidruhovým odlišnostem docházelo v pásmu NIR, kde hodnoty jehličnanů byly zpravidla nižší než u listnáčů. Zejména v červnu a srpnu je možné je na první pohled rozlišit díky odlišné dynamice růstu mezi NIR a RED. Podle Ustina a Jacquemouda (2020) je tento jev zapříčiněn tím, že listy jehličnanů jsou kompaktní, s malým vzduchovým prostorem mezi buňkami. To snižuje vnitřní rozptyl světla a přispívá k nízké odrazivosti NIR jehličí ve srovnání s širokolistými rostlinami

U borovice lesní byla ve všech pásmech napříč sezónou (kromě RED v listopadu) zjištěna vyšší odrazivost než u smrku ztepilého. 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, dosahující minima uprostřed sezóny, by měla být nepřímo úměrná obsahu chlorofylu obsaženému v listech. Přesný opak lze sledovat v odrazivosti zeleného pásma a NIR, která na jaře dosahuje nižších hodnot, koncem června roste, v polovině srpna je na vrcholu a na podzim následuje pokles. Vývoj koresponduje s teorií o poměru v listech obsažených fotosyntetických pigmentech, který se v průběhu roku mění. To potvrzuje hypotézu (Římanová, 2020), že chlorofyl, jakožto zásobárna cenných živin, je na podzim v reakci na ochlazení odbouráván, aby nedošlo k jeho ztrátě. Projevují se tak ostatní barviva s odlišnými spektrálními vlastnostmi.

Popsaný průběh lze pozorovat taktéž na vývoji NDVI, který je založen na poměru pásem NIR a RED. U listnatých stromů hodnoty vykazují podstatně dynamičtější vývoj než u jehličnanů, kde se hodnoty pohybují v rozmezí 0,77 – 0,88 a nedochází k nikterak dramatickým odchylkám. NDVI v této práci nebyl použit za účelem hodnocení vitality vegetace, ale právě k ke sledování vzájemného poměru dvou zmíněných pásem a jeho vývoje.

Výsledné spektrální křivky jednotlivých náletů (kapitola 5.2) je také třeba brát s rezervou. Výchozí data svým rozsahem nepokrývají dané spektrum v plném rozsahu. Hodnoty křivek jsou dopočítány algoritmickým odhadem, založeným pouze na pěti známých hodnotách středů jednotlivých pásem. Jedná se o automatickou interpolaci provedenou v rámci MS Excel. Křivky vykreslené pouze na základě lomových bodů byly použity pro jednotlivé stromy (kapitola 5.3).

Výsledky této práce nelze považovat za univerzálně platné. Na kvalitu pořízených dat může mít vliv řada proměnných. Dle Guyot et al. (2008) interpretace dat DPZ týkající se lesních porostů vyžaduje odpovídající znalosti faktorů ovlivňujících jejich optické vlastnosti. Může se jednat o faktory externí a interní. Mezi externí Guyot et al. (2008) uvádí velikost zobrazené oblasti, orientace a sklon osy pohledu, výška Slunce na obloze, viditelnost a rychlost větru. Mezi interní pak řadí geometrii koruny stromu a optické vlastnosti pozadí (půda, podrost). U mladých umělých lesů také hraje roli orientace řádku. Williams (1991) doplňuje, že spektrální odrazivost mohou ovlivnit i faktory jako vlhkost a složení půdy.

Sharma et al. (2010) analyzovali satelitní snímky třech druhů jehličnanů v odlišných biogeoklimatických oblastech v prostoru Cariboo Forest Region v Britské Kolumbii (Kanada). Ze závěru jejich práce vyplývá, že spektrální odrazivost stejných druhů byla na různých místech odlišná. Tento fakt autoři přičítají zejména odlišným klimatickým a půdním podmínkám. Je tedy nutné výsledky vnímat pouze v kontextu dané studijní lokality a podmínek panujících během sběru dat.

# 7 Závěr

Zadání této práce vyžadovalo poměrně komplexní řešení. Zpracování a interpretaci dat předcházelo více než půlroční období mnohdy komplikované terénní práce na území PP Housle a přilehlého okolí. Sběr dat byl realizován pomocí bezpilotního letounu s multispektrální kamerou. Celkem bylo naplánováno pět letových misí v rozmezí 1,5 měsíce dlouhých intervalů. Některé plánované termíny však byly posouvány v závislosti na momentálních meteorologických podmínkách.

Výstupem každého náletu byla zpracovaná ortofotomozaika čítající pět spektrálních pásmem (B, G, R, RE, NIR). Do analýzy bylo zahrnuto pět druhů dřevin: dub letní, habr obecný, javor klen, smrk ztepilý a borovici lesní. U všech stromů byla změřena spektrální odrazivost a posouzen její průběh napříč vegetační sezónou. Výsledky nasvědčovaly znatelně dynamickému vývoji, téměř všechny vegetační křivky odpovídaly předpokládanému průběhu. Jedinou výjimku představoval dub letní z květnového náletu a všechny listnaté stromy z konce listopadu. Tuto anomálii lze vysvětlit díky sníženému množství listí, které se v dané termíny v korunách zájmových stromů nacházelo. Zmíněný faktor ovlivnil zejména výsledky v pásmu NIR, které byly násobně nižší než v ostatních měsících.

Celkově bylo potvrzeno, že na NIR záření reagují stromy odlišným způsobem než na VIS. NIR bylo také pásmem, kde se odlišnosti mezi jednotlivými dřevinami projevovaly nejvýrazněji. Vynikly zejména rozdíly mezi listnáči a jehličnany, přičemž u jehličnanů byla odrazivost většinou výrazně nižší. U borovice byla ve všech pásmech napříč sezónou (kromě RED v listopadu) změřena vyšší odrazivost než u smrku. Odrazivost BLUE a RED dosahovala nižších hodnot uprostřed sezóny. Opačný trend bylo možné sledovat v pásmech GREEN a NIR, kde byl až do srpna zaznamenán růst, poté následoval pokles. Jedinou výjimku představovala borovice, u které byla změřena vyšší odrazivost NIR v září než v srpnu. Spočítaný NDVI koresponduje se sezónním vývojem NIR, přičemž u listnatých stromů hodnoty vykazují podstatně dynamičtější průběh než u jehličnanů.

Je pravděpodobné, že opakování experimentu v jiném roce by přineslo odlišné výsledky. Práce by se dala, za účelem zkvalitnění, v mnoha ohledech rozšířit. Zejména užší propojení s dendrologií a meteorologií by mohlo přinést zajímavé poznatky. Jistým přínosem by byla také již zmíněná podpora ve formě pozemní spektrometrie a sledování vývoje v rámci víceletého období. Takové řešení by ovšem vyžadovalo větší časovou dotaci podpořenou komplexnějším výzkumem.

# 8 Reference


1) ACKER J., WILLIAMS R., CHIU L., ARDANUY P., MILLER S., SCHUELER C., WACHON P. W., MANORE M., 2014: Remote sensing from satellites *in* Reference Module in Earth System and Environmental Sciences. Elsevier. ISBN 9780124095489.
2) ADELINE K.R.M., CHEN M., BRIOTTET X., PANG S.K., PAPARODITIS N., 2013: Shadow detection in very high spatial resolution aerial images: A comparative study. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (80). ISSN 0924-2716.
3) AGGARWAL S., 2004: Principles of Remote Sensing *in* Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. World Meteorological Organisation. Geneva. 423 s.
4) ALBRECHTOVÁ J., BARRETT N. R., 2003: Dálkový průzkum krušnohorských lesů: Z mikroskopu do makroskopu a zase zpátky. Vesmír 82.
5) BOCHOW M., ROGAß C., PEISKER T., HEIM B., BARTSCH I., SEGL K., KAUFMANN H., 2011: Automatic shadow detection in hyperspectral VIS-NIR images.
6) BIELAWSKA A., CZUBINSKA M., GÓRSKA M., 1964: Obserwacje fenologiczne nad drzewami i krzewami aklimatyzowanymi w ogrodzie botanicznym uniwersytetu im Adama Mickiewicza w Poznaniu w latech 1957–1961. Polska akademia nauk. Poznań. 107 s.
7) BLACKBURN G. A., 1998: Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: a test using senescent tree leaves. Joournal Remote Sensing (19/4).
8) CAMPBELL N. A., REECE, J. B., 2002: Campbell Biology. Calif: Benjamin Cummings. San Francisco. ISBN 0805366245.
9) COUFAL L., HOUŠKA V., REITSCHLÄGER D., VALTER J., VRÁBLÍK T., 2004: Fenologický atlas. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 264 s. ISBN 80-86690-11-3.
10) CULEK M., GRULICH V., LAŠTŮVKA Z., DIVÍŠEK J., 2013: Biogeografické regiony České republiky. Masarykova univerzita. Brno. 450 s. ISBN 978-80-210-6693-9.
11) DAILY H. A., 1990: Biosynthesis of heme and chlorophylls. McGraw-Hill. New York. ISBN 0070150885.
12) DAVIES K. M., 2004: Plant pigments and their manipulation: Annual plant reviews (14). Blackwell Publishing. Oxford.

13) DOBROVOLNÝ P., 1998: Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu. Masarykova univerzita. Brno. 210 s. ISBN 80-210-1812-7.
14) DOSTÁLEK J., 2009: Plán péče o přírodní památku Housle (2010-2024). Magistrát hlavního města Prahy.
15) GATES D. M., KEEGAN H. J., SCHLETER, J. C. WEIDNER V.R., 1965: Spectral Properties of Plants. Applied Optics (4/11).
16) GEBAUER R., VOLAŘÍK D., URBAN J., BØRJA I., NAGY N. E., ELDHUSET T. D., KROKENE P., 2011: Effect of thinning on anatomical adaptations of Norway spruce needles. Oxford University Press.
17) GRULICH V., CHOBOT K., 2017: Červený seznam ohrožených druhů České republiky – cévnaté rostliny. Příroda (35). Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Praha. ISBN 978-80-88076-47-6.
18) GUYOT G., GUYON D., RIOM J., 1989: Factors affecting the spectral response of forest canopies. A review. Geocarto International.
19) HÁJKOVÁ L., 2012: Atlas fenologických poměrů Česka. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 311 s. ISBN 978-80-86690-98-8.
20) HEJDA R., FARKAČ J., CHOBOT K., 2017: Červený seznam ohrožených druhů České republiky – bezobratlí. Příroda (36). Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Praha. ISBN 978-80-88076-53-7.
21) HEJNÝ S., SLAVÍK B., 2003: Květena České republiky 2. Academia. Praha. 540 s. ISBN: 80-200-1089-0.
22) HUETE A. R., 2004: Remote sensing for environmental monitoring. Academic Press. ISBN 9780120644773.
23) CHMILEWSKI F. M., RÖTZER T., 2001: Response of tree phenology to climate change across Europe. Agriculture For Meteorology (108).
24) JONES H. G., VAUGHAN R. A., 2010: Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications. Oxford University Press. New York. ISBN 978-0-19-920779-4.
25) KOLÁŘ J., HALOUNOVÁ L., PAVELKA K., 1997: Dálkový průzkum Země 10. 1. vydání. Vydavatelství ČVUT. Praha. 164 s. ISBN 80-01-01567-X.
26) KOŽNAROVÁ V., KLABZUBA J., 2011: Aplikovaná meteorologie a klimatologie I. díl – Historie a současnost, čas a kalendáře. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Praha. ISBN 978-80-213-1280-7.

27) KREJČÍ P., SLABÝ K., 2008: Obecná botanika (multimediální učební text). Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Brno.
28) KRŠKA K., 2006: Fenologie jako nauka, metoda a prostředek *in* Fenologická odezva proměnlivosti podnebí. Český hydrometeorologický ústav. Brno. ISBN 80-86690-35-0.
29) KUBÁČEK P., 2011: Základy fyzikální chemie. Masarykova univerzita. Brno. ISSN 1802-128X.
30) KUBÍKOVÁ J., LOŽEK V., ŠPRYŇAR P., 2005: Chráněná území ČR. Sv. 12. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Praha. ISBN 80-86064-69-7.
31) KULHAVÝ, J. 2009: Ekologie lesa III. Vyd. 1. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Brno. ISBN 9788073753559.
32) LILLESAND T. M., KIEFER R. W., 2000: Remote Sensing and Image Interpretation (fourth edition). John Wiley & Sons. New York. ISBN 0-471-25515-7.
33) MÍCHAL I., 1993: Největší známé stromy Evropy. Živa (3). Academia.
34) MORAVEC J., 2015: Naučná stezka Housle. Ochrana přírody (6). Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Praha.
35) MUSIL I., 2003: Lesnická dendrologie 1 – Jehličnaté dřeviny. Česká zemědělská univerzita. Praha. 177 s. ISBN 80-213-0992-X.
36) PAVLOVÁ L., 2006: Fyziologie rostlin. 1. vydání. Karolinum. Praha. 254 s. ISBN 8024609851.
37) PETRÁNEK J., 2016: Encyklopedie geologie. Česká geologická služba. Praha. 349 s. ISBN 9788070759011.
38) PLÁNKA L., 2007: Dálkový průzkum Země: Modul 01, Teoretické základy. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
39) PROCHÁZKA S., 1998: Fyziologie rostlin. Academia. Praha. ISBN 80-200-0586-2.
40) QUITT E., 1971: Klimatické oblasti Československa. Studia Geographica. ČSAV. Brno. 73 s.
41) ROMAN A., URSU T., 2016: Multispectral satellite imagery and airborne laser scanning techniques for the detection of archaeological vegetation marks. In: Landscape archaeology on the northern frontier of the roman empire at porolissum. An interdisciplinary research project. Mega Publishing House. Cluj-Napoca. ISBN 978-606-543-787-6.

42) ROUSE J. W, HAAS R. H., SCHELL J. A., DEERING D. W, 1974: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite - 1 SymposiumVolume I: Technical Presentations. Texas A&M University. Texas.

43) ROŽNOVSKÝ J., 1999: Klimatologie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Brno. ISBN 80-7157-419-8.

44) RÜFENACHT D., FREDEMBACH C., SÜSSTRUNK S., 2014: Automatic and Accurate Shadow Detection Using Near-Infrared Information *in* IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (36/8).

45) ŘÍMANOVÁ R., 2020: Když listy hrajou barvami. AΩ/Věda pro každého (2/2020). Akademie věd České republiky v.v.i. Praha. ISSN 2570-7566.

46) SERBIN S. P., TOWNSEND P. A., 2020: Scaling Functional Traits from Leaves to Canopies *in* Remote Sensing of Plant Biodiversity. Springer Nature Switzerland AG. Cham. 594 s. ISBN 978-3-030-33156-6.

47) SHARMA R., MARSHALL P. L., LECKIE D. G., 2010: Spectral Response of Selected Conifer Tree Species across Biogeoclimatic Subzones. Proceedings The Prairie Summit. University of Regina, Department of Geography. Regina, Saskatchewan.

48) SCHOTT J. R., 2007: Remote Sensing: The Image Chain Approach. Oxford University Press. Oxford. New York. 701 s.

49) SCHWARTZ M. D., 1999: Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. International Journal of Biometeorology (42).

50) SVATOŇOVÁ H., LAUERMANN L., 2010: Dálkový průzkum Země – aktuální zdroj geografických informací (1. vydání). Masarykova univerzita. Brno. 96 s. ISBN 978-80-210-5162-1.

51) TOMÁŠKOVÁ I., KUBÁSEK J., 2016: Fyziologie lesních dřevin I.: Fyziologie, produkce a stresy rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. Katedra genetiky a fyziologie lesních dřevin. ISBN:978-80-213-2608-8.

52) TOMÁŠKOVÁ I., KUBÁSEK, 2017: J. Fyziologie lesních dřevin II: Růst, vývoj a rozmnožování. 1.vydání. Česká zemědělská univerzita. Fakulta lesnická a dřevařská. Katedra genetiky a fyziologie lesních dřevin. Praha. 215 s. ISBN 978-80-213-2800-6.

53) UHLÍŘ P., 1961: Meteorologie a klimatologie v zemědělství. Československá akademie zemědělských věd. Praha. 402 s.

54) USTIN S. L., GITELSON A. A., JACQUEMOUD S., SCHAEPMAN S., ASNER G. P., 2009: Retrieval of foliar information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy *in* Remote Sensing of Environment (113). University of Nebraska. Lincoln.
55) USTIN S. L., JACQUEMOUD S., 2020: How the Optical Properties of Leaves Modify the Absorption and Scattering of Energy and Enhance Leaf Functionality *in* Remote Sensing of Plant Biodiversity. Springer Nature Switzerland AG. Cham. 594 s. ISBN 978-3-030-33156-6.
56) VINTER V., 2009: Rostliny pod mikroskopem (Základy anatomie cévnatých rostlin). Twin s.r.o. Olomouc. 200 s. ISBN: 978-80-244-2223-7.
57) WILLIAMS D. L., 1991: A comparison of spectral reflectance properties at the needle, branch, and canopy level for selected conifer species. Remote Sensing of Environment (35).
58) YOUNG A. J., WELLINGS R., BRITTON G., 1991: The fate of chloroplast pigments during senescence of primary leaves of *Hordeum vulgare* and *Avena sativum*. Journal of Plant Physiology.

**Legislativní zdroje**

1) Vyhláška č. 3/1982 Sb., Vyhláška o chráněných přírodních výtvorech v hlavním městě Praze na lokalitách Požáry, Dalejský profil, Opařilka-Červený lom, U Nového mlýna, Chuchelský háj, Housle, Ládví, Okrouhlík, Vinořský park, Obora v Uhříněvsi a jejich ochranných pásmech. Národní výbor hl. m. Prahy.

**Internetové zdroje**

1) AOPK: Maloplošná zvláště chráněná území – Housle. [online]. [cit. 2021.11.07]. Dostupné z: <https://drusop.nature.cz/ost/chrobjekty/zchru/>
2) Australian Academy of Science: Autumn leaves. [online]. [cit. 2022.03.09]. Dostupné z: <https://www.science.org.au/curious/earth-environment/autumn-leaves>
3) BOTANY.CZ: Botanická databáze. [online]. [cit. 2022.03.07]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/>
4) CONNERS D., 2017: Why do trees shed their leaves? [online]. [cit. 2022.03.08]. Dostupné z: <https://earthsky.org/earth/why-do-trees-shed-their-leaves/>
5) ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA: Půdní mapa 1 : 50 000. [online]. [cit. 2022.02.20]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/pudy/>

6) ČHMÚ: Historická data o klimatu na území ČR. [online]. [cit. 2021.12.30]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>
7) FENOFÁZE: Fenologické fáze. Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. a Český hydrometeorologický ústav: Fenologické fáze. [online]. [cit. 2022.03.07]. Dostupné z: <https://www.fenofaze.cz/cz/>
8) KHAN ACADEMY: Light and photosynthetic pigments. [online]. [cit. 2022.03.07]. Dostupné z: <https://www.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments>
9) INDEX DATABASE: A database for remote sensing indices: NDVI. Bonn: The IDB Project. [online]. [cit. 2021.11.27]. Dostupné z: <https://www.indexdatabase.de/db/isingle.php?id=361>
10) NASA, 2014: Observing in Infrared. [online]. [cit. 2021.03.27]. Dostupné z: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/FalseColor/page5.php>
11) NASA SCIENCE: Infrared Waves. [online]. [cit. 2022.03.27]. Dostupné z: < https://science.nasa.gov/ems/07_infraredwaves>
12) PRAŽSKÁ PŘÍRODA (a): Zvláště chráněná území – Housle. [online]. [cit. 2021.11.05]. Dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/chranena-priroda/zvlaste-chranena-uzemi/housle/>
13) PRAŽSKÁ PŘÍRODA (b): Lysolajský sad Housle. [online]. [cit. 2021.11.18]. Dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/ovocne-sady-a-aleje/sady-a-aleje-dle-katastru/lysolaje/lysolajsky-sad-housle/>
14) PROGRAM GLOBE: Fenologie (metodika). Vzdělávací centrum Tereza. [online]. [cit. 2022.03.01]. Dostupné z: <https://globe-czech.cz/_files/userfiles/Metodika.pdf>
15) PASCHOTTA R.: Infrared Light. RP Photonics Encyclopedia. [online]. [cit. 2022.03.12]. Dostupné z: <https://www.rp-photonics.com/infrared_light.html>
16) SENSEFLY: eBee X brochure. [online]. [cit. 2022.01.11]. Dostupné z: <https://www.sensefly.com/app/uploads/2018/09/ebee-x-en-2021-v2-digital.pdf>
17) STEZKY.INFO: Naučná stezka Housle. [online]. [cit. 2022.01.09]. Dostupné z: <https://www.stezky.info/naucne-stezky-praha/ns-housle.htm>
18) STRAKOVÁ J., 2020: Blanokřídlý hmyz PP Housle a blízkého okolí. Blanokřídlí v Praze. [online]. [cit. 2021.11.19]. Dostupné z: <https://blanokridlivpraze.cz/aktuality/detail/?aktId=138>

19) VÚMOP, v.v.i.: eKatalog BPEJ. [online]. [cit. 2022.02.20]. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz/>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: *Elektromagnetická vlna; Zdroj: Aggarwal (2004)* ..... 12
Obrázek 2: *Spektrum elektromagnetického záření; Zdroj: Kubáček (2011)* ..... 13
Obrázek 3: *Anatomická stavba listu; Zdroj: Serbin et Townsend (2020)* ..... 16
Obrázek 4: *Roční fenologické cykly vegetace; Zdroj: Program Globe (2008)* ..... 24
Obrázek 5: *Poloha zájmového území; Zdroj: ArcGIS Online (ESRI) (2021), vlastní zpracování* ..... 28
Obrázek 6: *Mapa PP Housle; Zdroj: Moravec (2015)* ..... 29
Obrázek 7: *Pískovcové skály v rokli PP Housle; Zdroj: vlastní foto,* ..... 32
Obrázek 8: *Bezpilotní letoun Sensefly eBee X; Zdroj: bezpilotne.cz (2022)* ..... 34
Obrázek 9: *MicaSense RedEdge-MX; Zdroj: Sensefly.comc (2022)* ..... 35
Obrázek 10: *Výsledná ortofotomozaika pro srpnový nálet (RGB zobrazení)* ..... 37
Obrázek 11: *Ukázka smrku ztepilého v pásmu modrém a NIR, odmaskování zastíněných pixelů (září 2021)* ..... 38

## Seznam grafů

Graf 1: *Spektrální křivky různých materiálů; Zdroj: Huete (2004)* ..... 18
Graf 2: *Absorpce světla rostlinnými pigmenty; Zdroj: Khan Academy (2022)* ..... 20
Graf 3: *Vývoj průměrné denní teploty a denního úhrnu srážek během vegetační sezóny 2021; Zdroj: meteostanice ČZU FAPPZ, vlastní zpracování* ..... 40
Graf 4: *Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (Květen 2021)* ..... 41
Graf 5: *Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (Červen 2021)* ..... 42
Graf 6: *Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (Srpen 2021)* ..... 43
Graf 7: *Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (Září 2021)* ..... 44
Graf 8: *Spektrální křivky vybraných dřevin PP Housle a okolí (Listopad 2021)* ..... 45
Graf 9: *Spektrální křivky dubu letního v PP Housle a okolí (2021)* ..... 46
Graf 10: *Spektrální křivky javoru klenu v PP Housle a okolí (2021)* ..... 47
Graf 11: *Spektrální křivky habru obecného v PP Housle a okolí (2021)* ..... 48
Graf 12: *Spektrální křivky smrku ztepilého v PP Housle a okolí (2021)* ..... 49
Graf 13: *Spektrální křivky borovice lesní v PP Housle a okolí (2021)* ..... 50
Graf 14: *Vývoj NDVI zájmových dřevin v průběhu vegetační sezóny 2021* ..... 51

## Seznam tabulek

Tabulka 1: *Spektrum viditelného záření* ..... 13
Tabulka 2: *Rozdělení infračerveného záření na jednotlivá pásma; Zdroj: Paschotta (2022)* ..... 14
Tabulka 3: *Druhová skladba dřevin na území PP Housle; Zdroj: Dostálek (2009)* ..... 31
Tabulka 4: *Podmínky jednotlivých letových misí* ..... 36

## Seznam rovnic

Rovnice 1: *Rychlost vstupu vlny* ..... 12
Rovnice 2: *Výpočet energie fotonu* ..... 12
Rovnice 3: *Normalized difference vegetation index (NDVI)* ..... 39

# Seznam příloh

Příloha 1: *Spektrální odrazivost zájmových dřevin PP Housle a okolí v jednotlivých měsících* ....64
Příloha 2: *Vývoj NDVI zájmových dřevin PP Housle a okolí v jednotlivých měsících*....64
Příloha 3: *Směrodatné odchylky spektrální odrazivosti zájmových dřevin PP Housle a okolí v jednotlivých měsících* ....65
Příloha 4: *Počet pixelů po odstranění stínů podle zájmových dřevin PP Housle a okolí v jednotlivých měsících (tabulka)* ....65
Příloha 5: *Výsledná ortofotomozaika pro květnový nálet* ....66
Příloha 6: *Výsledná ortofotomozaika pro červnový nálet*....66
Příloha 7: *Výsledná ortofotomozaika pro zářijový nálet* ....67
Příloha 8: *Výsledná ortofotomozaika pro listopadový nálet*....67
Příloha 9: *Počet pixelů po odstranění stínů podle zájmových dřevin PP Housle a okolí v jednotlivých měsících* ....68

# 9 Přílohy

| Měsíc | Dřevina | Spektrální odrazivost [%] v měřených pásmech [nm] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Blue | Green | Red | Red edge | NIR |
| | | 475 | 560 | 668 | 717 | 840 |
| Květen | Dub letní | 2,89 | 6,03 | 4,94 | 13,18 | 21,71 |
| | Habr obecný | 2,06 | 8,05 | 2,75 | 19,53 | 35,75 |
| | Javor klen | 2,56 | 7,59 | 3,47 | 17,50 | 29,76 |
| | Smrk ztepilý | 2,07 | 5,19 | 2,92 | 11,92 | 23,63 |
| | Borovice lesní | 2,83 | 6,20 | 3,37 | 14,24 | 30,23 |
| Červen | Dub letní | 1,65 | 4,77 | 1,72 | 14,90 | 48,37 |
| | Habr obecný | 1,84 | 5,89 | 2,52 | 19,92 | 53,89 |
| | Javor klen | 1,75 | 4,86 | 2,08 | 16,54 | 47,06 |
| | Smrk ztepilý | 2,07 | 5,53 | 2,96 | 14,42 | 32,12 |
| | Borovice lesní | 3,07 | 7,02 | 4,10 | 18,01 | 40,84 |
| Srpen | Dub letní | 1,88 | 4,79 | 1,91 | 15,32 | 58,67 |
| | Habr obecný | 1,90 | 5,30 | 2,24 | 16,48 | 54,71 |
| | Javor klen | 2,23 | 5,32 | 2,33 | 17,45 | 62,22 |
| | Smrk ztepilý | 2,36 | 5,70 | 2,77 | 14,06 | 41,66 |
| | Borovice lesní | 3,00 | 6,43 | 3,16 | 16,02 | 46,32 |
| Září | Dub letní | 2,18 | 6,12 | 2,65 | 17,95 | 54,73 |
| | Habr obecný | 1,70 | 4,93 | 2,62 | 14,49 | 39,03 |
| | Javor klen | 2,03 | 4,98 | 2,46 | 15,63 | 45,80 |
| | Smrk ztepilý | 2,30 | 5,48 | 2,83 | 13,64 | 36,92 |
| | Borovice lesní | 3,31 | 7,29 | 3,96 | 18,26 | 49,23 |
| Listopad | Dub letní | 3,32 | 5,32 | 7,62 | 13,53 | 22,21 |
| | Habr obecný | 3,23 | 5,08 | 6,64 | 12,65 | 20,63 |
| | Javor klen | 3,81 | 6,12 | 8,22 | 14,19 | 21,65 |
| | Smrk ztepilý | 2,46 | 5,34 | 3,79 | 13,70 | 29,72 |
| | Borovice lesní | 2,95 | 6,57 | 3,47 | 16,50 | 35,91 |

**Příloha 1:** *Spektrální odrazivost zájmových dřevin PP Housle a okolí v jednotlivých měsících*

| Dřevina | NDVI | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Květen | Červen | Srpen | Září | Listopad |
| Dub letní | 0,63 | 0,93 | 0,94 | 0,91 | 0,49 |
| Habr obecný | 0,86 | 0,91 | 0,92 | 0,87 | 0,51 |
| Javor klen | 0,79 | 0,92 | 0,93 | 0,90 | 0,45 |
| Smrk ztepilý | 0,78 | 0,83 | 0,88 | 0,86 | 0,77 |
| Borovice lesní | 0,80 | 0,82 | 0,87 | 0,85 | 0,82 |

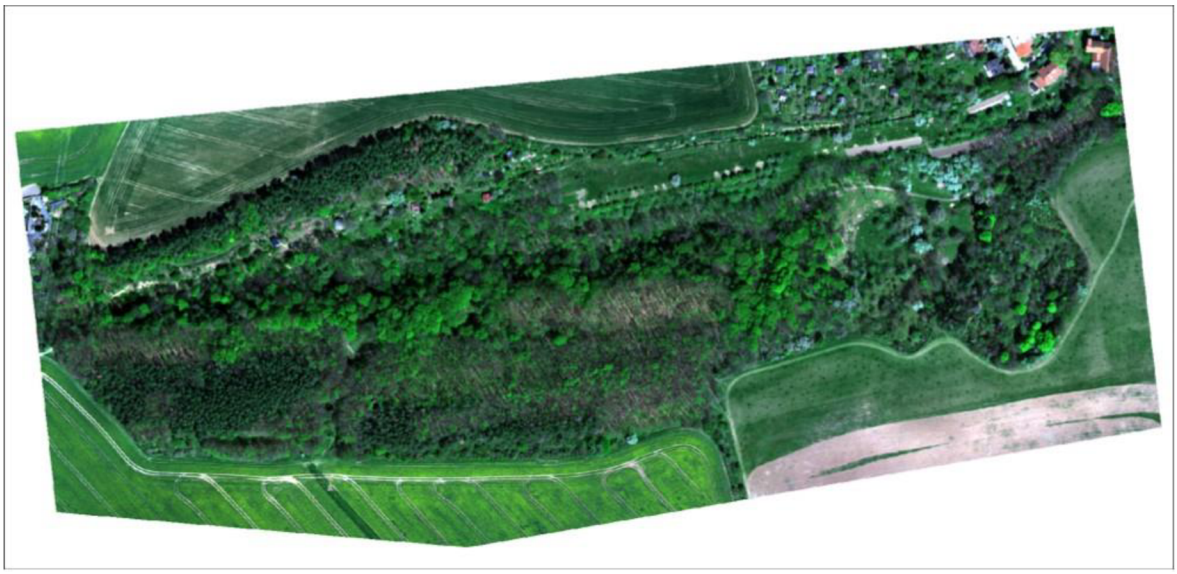
**Příloha 2:** *Vývoj NDVI zájmových dřevin PP Housle a okolí v jednotlivých měsících*

| Měsíc | Dřevina | SO spekt. odr. [%] v měřených pásmech [nm] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Blue | Green | Red | Red edge | NIR |
| | | 475 | 560 | 668 | 717 | 840 |
| Květen | Dub letní | 0,63 | 1,10 | 1,30 | 2,23 | 3,04 |
| | Habr obecný | 0,41 | 1,81 | 0,57 | 3,91 | 5,66 |
| | Javor klen | 0,49 | 1,54 | 0,72 | 3,18 | 4,65 |
| | Smrk ztepilý | 0,52 | 1,32 | 0,83 | 2,90 | 4,75 |
| | Borovice lesní | 0,50 | 1,11 | 0,63 | 2,53 | 4,62 |
| Červen | Dub letní | 0,37 | 1,22 | 0,44 | 3,44 | 6,93 |
| | Habr obecný | 0,48 | 1,72 | 0,75 | 5,24 | 9,18 |
| | Javor klen | 0,52 | 1,62 | 0,71 | 5,09 | 8,40 |
| | Smrk ztepilý | 0,48 | 1,40 | 0,80 | 3,52 | 5,88 |
| | Borovice lesní | 0,64 | 1,52 | 0,98 | 3,63 | 6,13 |
| Srpen | Dub letní | 0,41 | 1,34 | 0,47 | 3,49 | 9,57 |
| | Habr obecný | 0,37 | 1,28 | 0,48 | 3,36 | 7,11 |
| | Javor klen | 0,41 | 1,14 | 0,45 | 3,08 | 6,68 |
| | Smrk ztepilý | 0,39 | 1,05 | 0,48 | 2,26 | 5,44 |
| | Borovice lesní | 0,53 | 1,17 | 0,61 | 2,50 | 5,78 |
| Září | Dub letní | 1,07 | 3,34 | 1,59 | 9,21 | 20,67 |
| | Habr obecný | 0,83 | 2,66 | 1,66 | 7,14 | 12,44 |
| | Javor klen | 0,95 | 2,35 | 1,31 | 6,77 | 12,60 |
| | Smrk ztepilý | 0,73 | 1,94 | 1,07 | 4,86 | 10,27 |
| | Borovice lesní | 0,95 | 2,34 | 1,33 | 5,72 | 12,50 |
| Listopad | Dub letní | 0,41 | 0,63 | 0,80 | 1,21 | 1,85 |
| | Habr obecný | 0,30 | 0,43 | 0,52 | 0,87 | 1,34 |
| | Javor klen | 0,32 | 0,48 | 0,80 | 0,97 | 1,59 |
| | Smrk ztepilý | 0,35 | 0,89 | 0,55 | 2,00 | 4,23 |
| | Borovice lesní | 0,41 | 1,09 | 0,49 | 2,41 | 5,22 |

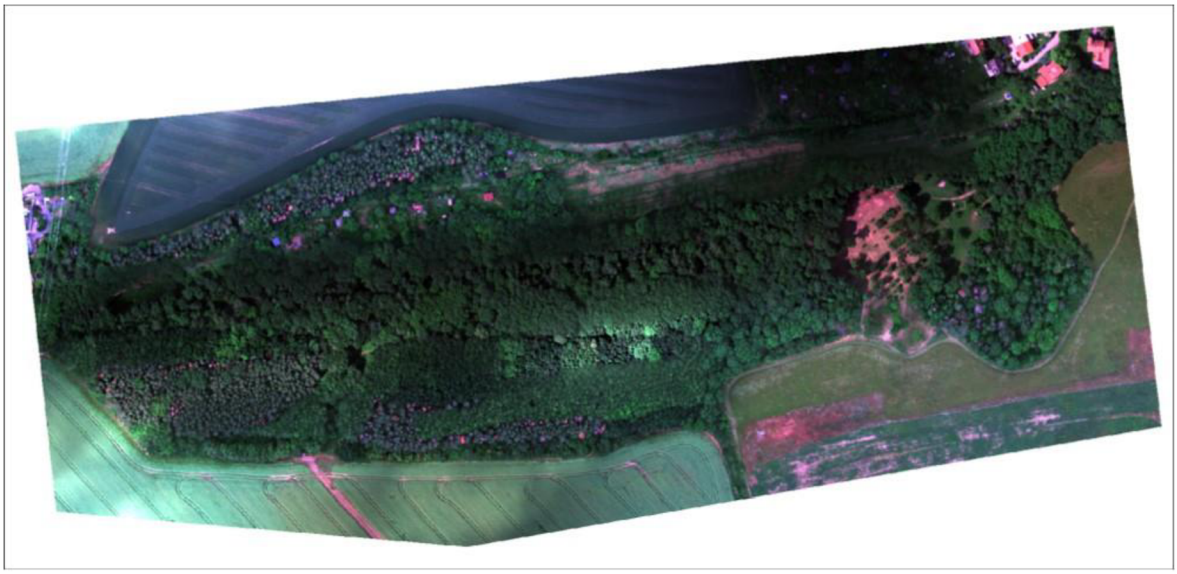
**Příloha 3:** *Směrodatné odchylky spektrální odrazivosti zájmových dřevin PP Housle a okolí v jednotlivých měsících*

| Dřevina | n pixelů zahrnutých do výpočtu | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Květen | Červen | Srpen | Září | Listopad |
| Dub letní | 4 845 | 5 580 | 5 982 | 5 472 | 5 536 |
| Habr obecný | 4 851 | 5 527 | 5 977 | 5 338 | 5 374 |
| Javor klen | 4 820 | 5 448 | 6 020 | 5 004 | 4 216 |
| Smrk ztepilý | 4 565 | 4 097 | 6 018 | 5 304 | 4 099 |
| Borovice lesní | 4 838 | 5 518 | 5 734 | 4 437 | 5 501 |
| **Celkem** | 23 919 | 26 170 | 29 731 | 25 555 | 24 726 |

**Příloha 4:** *Počet pixelů po odstranění stínů podle zájmových dřevin PP Housle a okolí v jednotlivých měsících (tabulka)*

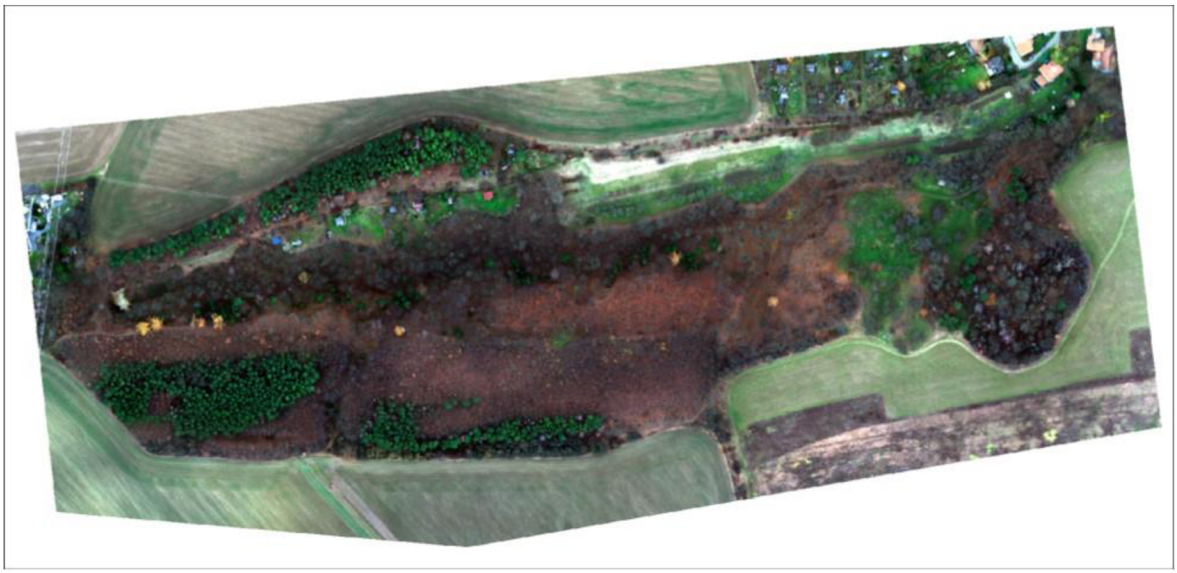


**Příloha 5:** *Výsledná ortofotomozaika pro květnový nálet*

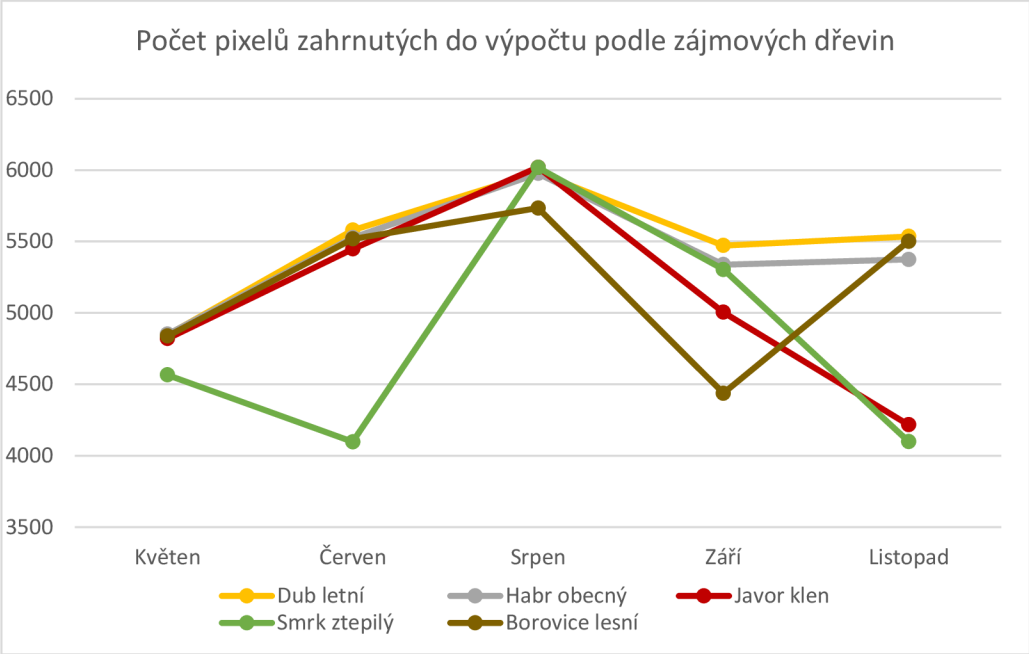


**Příloha 6:** *Výsledná ortofotomozaika pro červnový nálet*

**Příloha 7:** *Výsledná ortofotomozaika pro zářijový nálet*



**Příloha 8:** *Výsledná ortofotomozaika pro listopadový nálet*




**Příloha 9:** *Počet pixelů po odstranění stínů podle zájmových dřevin PP Housle a okolí v jednotlivých měsících (graf)*