

# UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Experimentální biologie rostlin



**Bc. Eva KABILKOVÁ**

Porovnání fyziologického stavu mlazin jedle bělokoré na stanovištích s rozdílným mikroklimatem pomocí biochemických a optických parametrů jehlic

Physiological status of young silver fir on stands with different microclimate using biochemical and optical needle traits

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. Zuzana Lhotáková, Ph.D.

Konzultanti práce: prof. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D.

Ing. et Ing., Mgr. Pavel Bednář, Ph.D.

Praha, 2024



# CHARLES UNIVERSITY

Faculty of Science

Study programme: Experimental plant biology



**Bc. Eva KABILKOVÁ**

Physiological status of young silver fir on stands with different microclimate  
using biochemical and optical needle traits

Porovnání fyziologického stavu mlazin jedle bělokoré na stanovištích s rozdílným  
mikroklimatem pomocí biochemických a optických parametrů jehlic

## DIPLOMA THESIS

Supervisor: Mgr. Zuzana Lhotáková, Ph.D.  
Consultants: prof. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D.  
Ing. et Ing., Mgr. Pavel Bednář, Ph.D.  
Prague, 2024



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením Mgr. Zuzany Lhotákové, Ph.D. a za konzultace prof. RNDr. Jany Albrechtové, Ph.D. a Ing. et Ing., Mgr. Pavla Bednáře, Ph.D., že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu, a že tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 28.4. 2024

Eva Kabilková



## Poděkování

Na prvním místě bych ráda poděkovala své školitelce Mgr. Zuzaně Lhotákové, Ph.D. za velmi vstřícné vedení a podporu během celé doby sepisování této práce. Rovněž bych své školitelce chtěla poděkovat, za veškerý čas, který věnovala realizaci experimentu a provedla mě celou problematikou řešeného tématu, od terénních výjezdů, přes jednotlivé metodické přístupy, až k finální podobě této práce. V neposlední řadě bych také chtěla poděkovat za vždy velmi přínosné a podnětné konzultace.

Mé poděkování také patří konzultantce prof. RNDr. Janě Albrechtové, Ph.D. za hodnotné rady a zejména veškerý poskytnutý čas v rámci konzultací. Mimo jiné bych chtěla poděkovat Ing. et Ing., Mgr. Pavlovi Bednářovi, Ph.D. z Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti (VÚLHM) za pomoc při výběru stanovišť, zakládání experimentu a za poskytnutí cenných informací. Také děkuji Miroslavovi Bartákovi, za veškerou pomoc při terénních výjezdech a za zaškolení v rámci laboratorních metodických přístupů během zpracovávání odebraných vzorků. V neposlední řadě, bych chtěla poděkovat svému kamarádovi Mgr. Ivanovi Trubelíkovi za pomoc při zpracovávání dat v programu R-Studio.

Mé velké poděkování patří samozřejmě také rodině, partnerovi, blízkému kamarádovi, a i jiným přátelům, za veškerou podporu během celé doby studia.

### Grantové zabezpečení

Práce byla pilotní studií v rámci grantu Ministerstva zemědělství NAZV 2024-2027 QL24010275: „Jedle bělokorá jako dřevina pro druhové přeměny lesních porostů ČR a vliv uplatněných obnovních sečí v interakci s podmínkami lesních stanovišť na její růst, vitalitu, odolnost vůči fytopatogenům a vývoj mykorhizních asociací.“

Hlavní řešitel: Ing. et Ing., Mgr. Pavel Bednář, Ph.D., VÚLHM

Spoluřešitel na PŘF UK v Praze: prof. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D.

Spoluřešitel na Mendelově univerzitě v Brně: Ing. Aleš Kučera, Ph.D.





## Abstrakt

Jedle bělokorá (*Abies alba* Mill.) je kandidátní dřevinou v procesu transformace zejména smrkových monokulturních porostů (*Picea Abies* (L.) H. Karst.), a to díky lepším růstovým vlastnostem v podmínkách mírného sucha. Ovšem jedle jakožto stínomilná dřevina může být náchylnější k různým abiotickým stresorům v otevřenějších lesních zápojích, a proto je nutné tyto její ekologické nároky studovat v souvislosti s co možná nejúčinnější aplikací do lesního hospodářství. V této práci byl studován fyziologický stav mlazin jedlí ovlivněný různými světelnými mikroklimatickými podmínkami, které byly představovány různými typy lesní obnovy. Konkrétně se jedná o clonnou seč, která představuje pravděpodobnou nejvyšší míru stínění dospělým porostem, dále o přirozenou obnovu, skupinovou a násečnou seč, které představují střední míru stínění dospělým porostem a v neposlední řadě o holou seč, která představuje nejnižší míru stínění dospělým porostem. Hodnocení fyziologického stavu bylo prováděno pomocí biochemických a optických vlastností jehlic a mimo jiné byly hodnoceny i další mikroklimatické podmínky stanovišť, a to teplota a půdní vlhkost. Naše výsledky ukázaly, že použité biochemické i optické vlastnosti jehlic jsou na různé světelné mikroklima citlivé, zejména pro krajní situace (clonná a holá seč). Nicméně citlivost použitých indikátorů byla omezená pro průkazné odlišení různých lokalit se střední mírou stínění. Současně bylo pozorováno, že teplotní podmínky i půdní vlhkost dosahují nejvyšších hodnot na holé seči, kde mimo jiné i mlaziny jedlí vykazovaly nejnižší hodnoty v obsahu fotosyntetických pigmentů, a naopak nejvyšší hodnoty v poměru karotenoidů ku chlorofylu. Oproti tomu lokality představované střední a nejvyšší mírou stínění dospělým porostem dosahovaly mnohem vyšších hodnot v obsahu fotosyntetických pigmentů a o něco nižších hodnot v poměru karotenoidů ku chlorofylu. Nicméně měřené hodnoty maximálního kvantového výtěžku fotosystému II ve vrcholném období sezóny neukázaly zhoršený fyziologický stav mlazin na žádné z výzkumných lokalit. Z tohoto důvodu lze říct, že i když je jedle stínomilná dřevina, dokáže se na podmínky vyšší ozářenosti adaptovat. Ovšem i přes to, podle našich výsledků není holá seč zcela ideální pro růst jedlových mlazin a to z důvodu nepříznivých mikroklimatických podmínek, teploty a půdní vlhkosti a mimo jiné i z důvodu již zmiňované vysoké ozářenosti na této obnovní seči.

**Klíčová slova:** jedle bělokorá (*Abies alba* Mill); biofyzikální parametry jehlic; chlorofyl; rozpustné fenolické látky; odrazivost; typ lesní typ; mikroklimatické podmínky stanovišť; světelné podmínky – stínění; fyziologický stav rostlin

## Abstract

Silver fir (*Abies alba* Mill.) is a candidate tree species in the process of forest transformation especially of spruce monoculture stands (*Picea Abies* (L.) H. Karst.), thanks to its better growth characteristics in conditions of mild drought. However, fir, as a very shade tolerant tree, may be more susceptible to various abiotic stressors in more open forest canopies, and therefore it is necessary to study its ecological requirements in connection with the most effective possible application in forestry. In this thesis, the physiological state of young fir stands affected by different light microclimatic conditions, which were represented by different types of forest regeneration, was studied. Specifically, it is shelter-wood cut, which represents the likely highest degree of shading by mature trees, then natural regeneration under sparse canopy, gap cut and small clear cut, which represent a moderate degree of shading by mature trees, and last but not least, clear cut, which represents the lowest degree of shading. Physiological status was evaluated using biochemical and optical properties of the needles, and additional microclimatic conditions of the habitats, namely temperature and soil moisture, were also evaluated. Our results showed that the used biochemical and optical properties of the needles are sensitive to different light microclimates, especially for extreme situations (shelter-wood cut and clear cut). However, the sensitivity of the indicators used was limited for clearly distinguishing among stands with a moderate degree of shading. At the same time, it was observed that the temperature conditions and soil moisture reach the highest values in the clear cut, where, among others, fir needles showed the lowest content of photosynthetic pigments, and conversely the highest values in the ratio of carotenoids to chlorophyll. On the other hand, localities represented by the moderate and highest degree of shading reached much higher values in the content of photosynthetic pigments and slightly lower values in the ratio of carotenoids to chlorophyll. However, the measured values of the maximum quantum yield of photosystem II in the peak of the growing season did not indicate photoinhibition or worse physiological condition of the young fir trees at any of the research sites. For this reason, it can be concluded that even though fir is a shade tolerant species, it can adapt to conditions of higher irradiance. However, despite this, according to our results, clear cut is not optimal for the growth of silver fir, due to the unfavorable microclimatic conditions (irradiance, temperature and soil moisture) in comparison to other types of reforestation.

**Keywords:** silver fir (*Abies alba* Mill.); biophysical parameters of needles; chlorophyll; soluble phenolics; reflectance; forest recovery type; site microclimatic; light conditions – shading; plant physiological indicators



# Obsah

1 Úvod .....	1
1.1 Cíle a hypotézy práce.....	2
2 Literární přehled .....	4
2.1 Jedle bělokorá.....	4
2.2 Vybrané indikátory fyziologického stavu jedle bělokoré .....	6
2.2.1 Fotosyntetický parametr stanovovaný na základě měření fluorescence chlorofylu	8
2.2.2 Obsah fotosyntetických pigmentů .....	11
2.2.3 Obsah rozpustných fenolických látek.....	13
2.2.4 Specifická listová plocha, specifická hmotnost a obsah vody v listech.....	15
2.2.5 Spektrální vlastnosti listoví – odrazivost .....	16
3 Materiál a metody .....	20
3.1 Materiál .....	20
3.2 Metodika odběru vzorků .....	20
3.3 Charakteristika stanovišť .....	21
3.3.1 Lokalita přirozené obnovy – Holičky .....	23
3.3.2 Lokality umělé obnovy – Kocanda .....	24
3.3.3 Lokalita umělé obnovy – Znětínek .....	25
3.4 Stanovení mikroklimatických podmínek stanovišť.....	26
3.4.1 Bodový dendrometr.....	27
3.4.2 Datalogger TMS-4 .....	27
3.5 Měření fluorescenčního parametru fluometrem FluorPen .....	28
3.6 Měření obsahu chlorofylu pomocí fluorescenčního poměru CFR .....	29
3.7 Biochemické analýzy.....	30
3.7.1 Stanovení obsahu chlorofylů a celkových karotenoidů.....	30

3.7.2 Stanovení obsahu rozpustných fenolických látek .....	31
3.8 Stanovení specifické listové hmotnosti (LMA) a obsahu vody v listech (EWT).....	33
3.9 Měření odrazivosti vzorků listoví.....	34
3.10 Použité statistické a grafické metody .....	35
4 Výsledky .....	37
4.1 Interpretace mikroklimatických podmínek stanovišť.....	38
4.1.1 Bodový dendrometr.....	38
4.1.2 Datalogger TMS-4 .....	41
4.2 Fluorescenční parametr – QYmax.....	47
4.3 Obsahu chlorofylu – CFR.....	51
4.4 Obsah chlorofylu a celkových karotenoidů .....	54
4.4.1 Obsah chlorofylu <i>a</i> .....	55
4.4.2 Obsah chlorofylu <i>b</i> .....	57
4.4.3 Obsah celkového chlorofylu.....	59
4.4.4 Celkový obsah karotenoidů .....	61
4.4.5 Poměr obsahu celkových karotenoidů ku celkovému obsahu chlorofylu .....	64
4.5 Obsah rozpustných fenolických látek .....	66
4.6 Specifická listová hmotnost – LMA .....	68
4.7 Obsah vody v listech – EWT .....	70
4.8 Vícerozměrné analýzy biofyzikálních parametrů .....	72
4.9 Odrazivosti vzorků listoví.....	76
5 Diskuse .....	85
5.1 Vliv mikroklimatických podmínek na fyziologický stav dřevin .....	85
5.2 Fluorescenční parametr QYmax.....	88
5.3 Obsah chlorofyl ( <i>a+b</i> ) a karotenoidů v jehlicích.....	89
5.3.1 Obsah chlorofylu a karotenoidů .....	89

5.3.2 Poměry fotosyntetických pigmentů .....	91
5.3.3 Obsah chlorofylu – CFR.....	92
5.5 Rozpustné fenolické látky v jehlicích .....	94
5.6 Specifická listová hmotnost a obsah vody v listech .....	95
5.7 Odrazivost listoví .....	97
5.8 Shrnutí a další možné směry výzkumu .....	99
6 Závěry .....	101
6.1 Vyhodnocení cílů hypotéz.....	101
6.2 Závěr .....	103
7 Seznam použité literatury.....	104
7.1 Internetové zdroje .....	116
8 Přílohy .....	117



## Seznam použitých zkratek

CFR – poměr fluorescence chlorofylu emitované ve vlnových délkách 735 a 700 nm (z ang. chlorophyll fluorescence ratio)

DMF – dimethylformamid, dimetylamid kyseliny mravenčí

EWT – obsah vody vztažený na plochu jehlic (z angl. equivalent water thickness)

FCR – z angl. Folin & Ciocalteu phenol reagent

Chl *a*; Chl *b* – chlorofyl *a*; chlorofyl *b*

Kar – celkové karotenoidy (karoteny + xantofyly)

Kar/Chl (*a+b*) – celkový obsah karotenoidů ku celkovému obsahu chlorofylu

LAI – index listové plochy (z angl. leaf area index)

LMA – specifická hmotnost jehlic (vztažená na projekční plochu) (z angl. leaf mass per area)

NIR – blízké infračervené záření (z angl. near infrared)

PCA – analýza hlavních komponent (z angl. principal component analysis)

PSII – fotosystém II

QY<sub>max</sub> – maximální kvantový výtěžek PSII (z angl. PSII maximum quantum yield)

REIP – pozice inflexního bodu červeného okraje (z angl. red-edge inflection point)

ROS – reaktivní formy kyslíku (z angl. reactive oxygen species)

RWC – relativní obsah vody (z angl. leaf relative water content)

SLA – specifická listová plocha (z angl. specific leaf area)

SWIR – krátkovlnné infračervené záření (z angl. short-wave infrared)

VIS – viditelné záření (z angl. visible spectrum)

VÚLHM – Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti

# 1 Úvod

Vlivem působení nepříznivých klimatických podmínek jsou lesní společenstva, zejména monokulturní (smrková), vystavována mnohým stresovým faktorům, jako je vliv vysoké teploty či podkorního hmyzu. Z tohoto důvodu se jedle bělokora (*Abies alba* Mill.) zdá jako velmi vhodná kandidátní dřevina pro obnovu lesních smíšených porostů, protože je odolnější a rezilientnější v souvislosti s lepším růstem v podmínkách mírného sucha oproti smrku ztepilému (*Picea Abies* (L.) H. Karst.) či modřínu opadavému (*Larix decidua* Mill.) (Bottero et al., 2021; Vitasse et al., 2019). Nicméně u jedle je to světelné mikroklima, které hraje klíčovou roli v růstu jedlových mlazín, protože z hlediska ekologických nároků je tato dřevina stínomilná (Vacek et al., 2009) a její růst může být ovlivněn mimo jiné i různými typy lesních obnovovacích sečí.

Tyto ekologické nároky jsou řešeny v této práci, kdy se zabýváme hodnocením fyziologického stavu mlazín jedlí na několika typech obnovních sečí jako jsou: clonná, skupinová, násečná a holá seč (s výsadbou) včetně i přirozené obnovy. Otázkou tedy je, jak jedlové mlaziny prosperují na stanovištích s různým světelným mikroklimatem, které je představováno různými typy obnovy. Pro hodnocení fyziologického stavu mlazín na různých lokalitách jsou využívány nespécifické indikátory stresu, jako je maximální kvantový výtěžek fotosystému II (QY<sub>max</sub>), obsah fotosyntetických pigmentů, obsah rozpustných fenolických látek, specifická listová hmotnost (LMA), obsah vody vztažený na plochu jehlic (EWT) a spektrální vlastnosti listoví (odrazivost). Veškeré tyto biofyzikální a fyziologické parametry by měly být citlivé na různé světelné mikroklima a současně mohou sloužit i jako dobré indikátory fyziologického stavu. V rámci této práce dochází i k hodnocení jednotlivých metodických přístupů, a to pro vhodnost jejich aplikace v terénních podmínkách. Mimo jiné zejména měření optických vlastností jehlic nabízí nové a poměrně rychlé hodnocení fyziologického stavu nejenom mlaziny, ale i celých porostů, a to nedestruktivní cestou. V neposlední řadě je nutno zmínit, že výsledky této práce mají potenciál poskytnout cenné informace pro lesní hospodářství a mohou sloužit jako výchozí bod pro další výzkumy. Navíc jsou klíčovým přínosem pro grantový projekt Ministerstva zemědělství NAZV QL24010275 (2024–2027), který se zabývá vlivem obnovních sečí a interakcí s prostředím na růst a vitalitu jedle bělokore. Tento výzkum

otevívá dveře k lepšímu pochopení fyziologie lesních ekosystémů a jejich reakcí na změny klimatických podmínek, což je klíčové pro udržitelné lesní hospodaření a ochranu biodiverzity.

## 1.1 Cíle a hypotézy práce

Tato práce si klade tři základní cíle:

- 1) Prvním z cílů je vyhodnocení fyziologického stavu mladých jedinců jedle bělokoré v závislosti na předpokládaném různém světelném mikroklimatu studovaných lokalit.
  - **Hypotéza** (dále jen H) **1:** V rámci výzkumných lokalit budou jedinci jedle bělokoré hůře prosperovat na stanovištích s nižší mírou stínění (tj. zejména holá seč).
- 2) Druhým z cílů je posouzení citlivosti vybraných biofyzikálních a fyziologických parametrů stanovených na jehlicích mlazin jedle bělokoré k předpokládanému světelnému mikroklimatu.
  - **H2:** Rozdíly v obsahu fotosyntetických pigmentů budou negativně korelovat s mírou ozáření v rámci gradientu ve světelném mikroklimatu.
  - **H3:** Rozdíly v obsahu rozpustných fenolických látek budou pozitivně korelovat s mírou ozáření v rámci gradientu ve světelném mikroklimatu.
  - **H4:** Rozdíl mezi stanovišti ve fotosyntetickém parametru QY<sub>max</sub> (maximální kvantový výtěžek PSII = PSII maximum quantum yield) stanoveném na základě fluorescence chlorofylu bude negativně korelovat s mírou ozáření v rámci gradientu ve světelném mikroklimatu.
  - **H5:** Rozdíly ve specifické listové hmotnosti a obsahu vody budou pozitivně korelovat s mírou ozáření v rámci gradientu ve světelném mikroklimatu.
- 3) Třetím a posledním cílem práce je porovnání optických vlastností jehlic mlazin jedle bělokoré opět v závislosti na předpokládaném světelném mikroklimatu na studovaných stanovištích.
  - **H6:** Laboratorně měřená odrazivost listoví umožní od sebe odlišit stanoviště v rámci předpokládaného gradientu ve světelném mikroklimatu.

Jako vhodné indikátory fyziologického stavu mlazin jedle bělokoré předpokládáme zejména nespecifické indikátory stresu, například: fotosyntetický parametr stanovený na základě měření fluorescence chlorofylu; obsah fotosyntetických pigmentů; obsah rozpustných

fenolických látek; specifickou listovou hmotnost; obsah vody v listech nebo též spektrální vlastnosti listoví (odrazivost). Tyto vybrané biofyzikální a fyziologické parametry stanovené na jehlicích mlazin jedle bělokoré jsou mimo jiné uvedeny v souhrnné tabulce 1 společně s metodickými přístupy.

**Tabulka 1:** Přehled vybraných biofyzikálních a fyziologických indikátorů fyziologického stavu mlazin jedle bělokoré společně s metodickými přístupy jejich měření. Popis vybraných indikátorů fyziologického stavu jedle bělokoré, viz kapitola 2. Popis vybraných metod, viz kapitola 3 Materiál a metody.

<b>Biofyzikální a fyziologické indikátory fyziologického stavu</b>	<b>Metody či přístroj měření</b>
Fotosyntetické parametry stanovené na základě měření fluorescence chlorofylu (OJIP test)	FluorPen - kapesní fluometr
Obsah fotosyntetických pigmentů	Biochemické extrakce, spektrofotometrické stanovení
Obsah rozpustných fenolických látek	
Specifická hmotnost jehlic vztažená na projekční plochu (LMA)	Skenování, vážení, výpočet plochy pomocí Image J
Obsah vody vztažený na projekční plochu (EWT)	Vážení, výpočet
Spektrální vlastnosti listoví - odrazivost	Spektroradiometr s kontaktní sondou

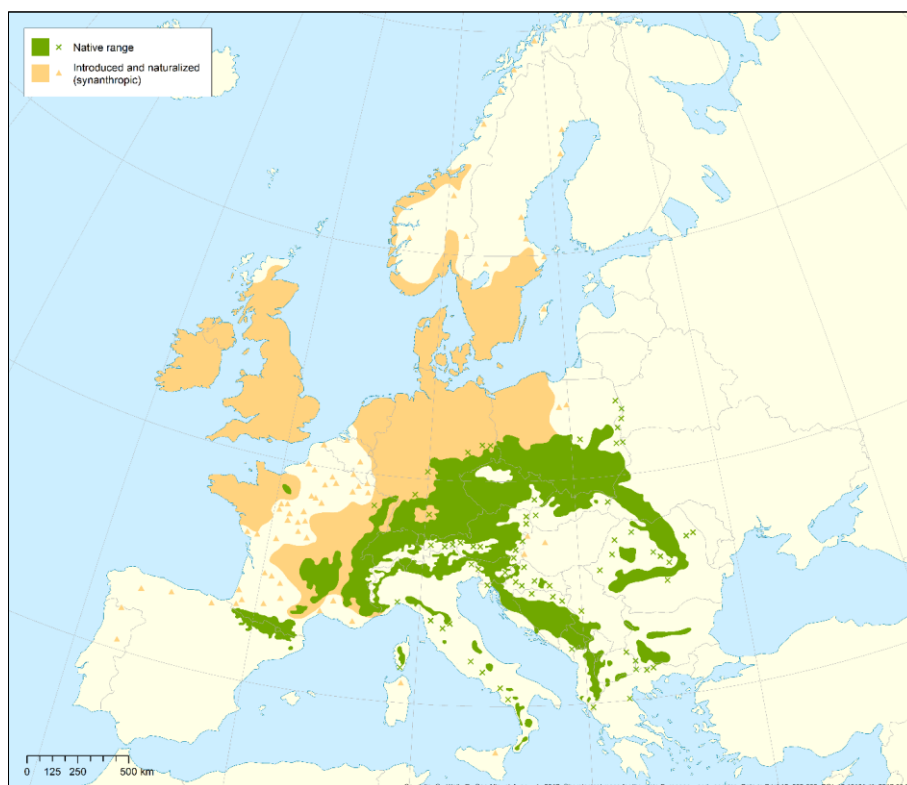
## 2 Literární přehled

Kapitola literárního přehledu si klade za cíl, představit jedli bělokorou jakožto studovaný druh v souvislosti s jejími ekologickými nároky. V rámci této práce je tolerance stínu pokládána za nejvýznamnější ekologický nárok jedle. Z tohoto důvodu byly vybrány takové fyziologické indikátory stavu mlazin jedle bělokoré, které citlivě reagují na různá světelná mikroklimata. Mezi takové indikátory můžeme zařadit parametry vyjmenované v tabulce 1, více o jedli bělokoré a vybraných fyziologických indikátorech v následujících kapitolách 2.1 a 2.2.

### 2.1 Jedle bělokorá

Jedle bělokorá (*Abies alba* Mill.) je stálezelený statný jehličnatý strom z čeledi borovicovité (*Pinaceae*). Je to dlouho žijící dřevina, jejíž věk může činit až 500 let. Rovněž je to dřevina, která v rámci Evropy dosahuje nejvyšších hodnot růstu, co se výšek týká, a to až 60 metrů (Tinner et al., 2013).

Jedle se řadí k nejvýznamnějším lesním dřevinám střední Evropy. Mimo těžiště výskytu ve střední Evropě jedle bělokorá zaujímá široký areál zastoupení i ve východní, jižní a severní Evropě, viz obr. 1. Vyskytuje se zejména v horském vegetačním pásu v nadmořských výškách od 500 do 2000 metrů nad mořem, ovšem může se vyskytovat i v nížinách (Dobrowolska et al., 2017). Nejhojnější výskyt jedle bělokoré v rámci Česka tvoří nižší horské oblasti, kdy produkční optimum je v nadmořských výškách pohybujících se v rozmezí 500 až 900 metrů (Vacek et al., 2009).



**Obrázek 1:** Areál rozšíření jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.). Zelená barva znázorňuje původní areál výskytu, oranžová barva naopak znázorňuje introdukovaný a naturalizovaný areál výskytu jedle bělokoré. Mapa převzata z: <https://www.euforgen.org/species/abies-alba/> - podle: Caudullo, G., Welk, E., San-Miguel-Ayanz, J., 2017. Chorologické mapy pro hlavní evropské dřeviny. Údaje ve zkratce 12, 662-666. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.05.007>

Jedle bělokorá roste na široké škále půdních typů s různým obsahem minerálních živin. Těžiště výskytu jedle je zejména na bohatších, čerstvě vlhkých až lehce podmáčených půdách, ovšem stanovištím výrazně podmáčeným nebo naopak suchým se vyhýbá (Vacek et al., 2009). Proto za ideální prostředí pro růst jedlí lze považovat hlubokou půdu s vyšším obsahem půdní vlhkosti, kdy tato půda má kyselé až neutrální pH (Mauri et al., 2016). Rovněž je to dřevina, která preferuje teplejší podmínky v letních obdobích, kdy se průměrná denní teplota pohybuje okolo 14 až 19 °C (Mauri et al., 2016; Tinner et al., 2013).

Typickým znakem jedle bělokoré je to, že dlouhodobě snáší zastínění, díky čemuž je ideální dřevinou pro víceetážové, smíšené různověké lesní porosty – různověké ve smyslu zastoupení různých věkových kategorií stromů v porostu (Vacek et al., 2009). Mimo jiné disponuje vysokou plasticitou vůči prostředí, ovšem je velmi citlivá na napadení plísňovými patogeny, případně hmyzem nebo na průmyslové emise, a to zejména na oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>) (Mauri et al., 2016). V neposlední řadě je jedle bělokorá nejvíce poškozovanou jehličnatou dřevinou spárkatou zvěří. Toto poškození okusem tvořilo podle Turek et al. (2010) 25,6 % z celkového

počtu sledovaných jedinců jedlí v zimním období 2004/2005. I přes to jedle bělokorá skýtá velký potenciál pro uchování zásob uhlíku v lesních ekosystémech vzhledem k oteplicímu se klimatu a mimo to skýtá i velký potenciál pro udržení vysoké diverzity (Tinner et al., 2013). Vyjma tohoto všeho má jedle i vysokou schopnost intercepce, kdy je schopná zadržet ve své nadzemní části 40-80 % srážek (Vacek et al., 2009).

Zejména díky vysoké toleranci k zastínění lze jedli bělokorou považovat za tzv. banku sazenic, která může mnoho let setrvávat pod korunami starších stromů (Mauri et al., 2016). Samotné jedle mají tendenci růst poměrně rozptýleně mezi jinými druhy stromů (Shi et al., 2021). Proto je funkční skladba lesů zachována společně s dalšími druhy, se kterými je jedle vysazována. Většinou dochází k výsadbě jedle společně se smrkem ztepilým (*Picea Abies* (L.) H. Karst.) nebo s borovicí lesní (*Pinus sylvestris* L.). V nižších nadmořských výškách dochází k výsadbě společně s bukem lesním (*Fagus sylvatica* L.) (Dobrowolska et al., 2017; Mauri et al., 2016). I když dochází ke zvyšování výsadeb jedle bělokoré, stále její procentuální zastoupení v našich lesích tvoří méně než 2 %, a to konkrétně 1,2 % k roku 2020 podle údajů Ministerstva zemědělství ČR (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství 2020 dostupné na <https://eagri.cz>, stav k 5. 12. 2023).

Vzhledem k vysoké plasticitě vůči prostředí, vysoké toleranci snášet zastínění a díky koexistenci s mnoha dalšími druhy je právě jedle bělokorá považována za klíčový druh pro zachování vysoké biodiverzity a funkční skladby lesů (Mauri et al., 2016; Tinner et al., 2013). Rovněž v nedávné studii Bottero et al. (2021) dospěli k závěru, že jedle vykazovala vyšší odolnost vůči suchu, (tj. nižší ztrátu růstu během sucha) a současně rychlejší návrat k úrovni růstu před působením sucha, než smrk ztepilý. Což opět potvrzuje, že jedle bělokorá je vhodným druhem pro vysazování do lesních porostů v souvislosti se snížením zastoupení smrkových monokultur. Rovněž v důsledku globální klimatické změny, konkrétně oteplování, je jedle podle Vacek et al. (2009) vhodným kandidátem pro výsadbu v severních oblastech Česka a v relativní blízkosti velkých vodních ploch anebo v lokalitách s vyšší vzdušnou vlhkostí.

## **2.2 Vybrané indikátory fyziologického stavu jedle bělokoré**

Jedle bělokorá patří mezi vysoce plastické dřeviny vůči prostředí, a proto je považována za vhodný druh pro obnovu lesních porostů. Nicméně je velmi důležité sledovat fyziologický stav

jedlových výsadeb, jelikož podmínky pro umělou obnovu lesa ne vždy odpovídají ideálním nárokům jedlí pro růst právě na těchto lokalitách. Jelikož jedle patří zejména ke stínomilným dřevinám, tak lokality obnovy jako například holé seče po kalamitních těžbách v důsledku napadení smrku kůrovcem se nezdají být příliš ideální pro vysazování jedlí. Z tohoto důvodu jsou v práci uvažované a sledované takové indikátory fyziologického stavu jedle bělokoré, které nám pomohou lépe porozumět ekologickým nárokům jedle, zejména těm světelným, což se následně může reflektovat v lesním hospodářství.

V komplexních ekosystémech jsou veškeré procesy spojené s růstem, vývojem a fyziologickými procesy řízeny vnitřními a vnějšími faktory. Z tohoto důvodu je nutno při sledování fyziologického stavu dřevin, respektive rostlin, sledovat projevy růstu a fyziologických procesů na různých hierarchických úrovních od makroskopických až k mikroskopickým.

Makroskopické projevy fyziologického stavu dřevin a zdravotního stavu lesa můžeme sledovat na úrovni celého porostu, rostliny nebo výhonu. Jedná se například o různá poškození koruny stromů či jehlic nebo zakládání nových výhonů. Mezi odborná šetření, která slouží k následnému zhodnocení zdravotního stavu stromů nejen v Česku, ale na evropské úrovni se využívá zejména hodnocení koruny stromů, a to defoliace a diskolorace. Mezi další možná hodnocení fyziologického stavu spadá například hodnocení poškození celého stromu vlivem abiotických a biotických stresových faktorů, zjišťování sociálního postavení a mimo jiné také hodnocení přízemní vegetace. Mimo tyto vlastnosti vegetace jsou zajišťovány i základní stanovištní a porostní charakteristiky, jako zeměpisná šířka a nadmořská výška, dostupnost vody, věk dřevin a jiné (Vejpustková, 2019). Díky makroskopickým znakům lze určit aktuální stav (vitalitu) porostů i jednotlivců. Mezi mikroskopické projevy, které lze pozorovat, řadíme projevy na úrovni pletiv, buněk, organel a subcelulárních struktur (Mašková et al., 2017). Tyto projevy jsou studovány zejména laboratorně pomocí biochemických a mikroskopických analýz. Jedná se například o obsah vody v listoví nebo obsah fotosyntetických pigmentů či fenolických látek (Albrechtová et al.; Soukupová et al., 2001).

Mezi vybrané indikátory fyziologického stavu mlazin jedle bělokoré pro tuto práci byly uvažované takové parametry jehlic, které jsou poměrně jednoduše měřitelné a zároveň vykazují dostatečnou variabilitu v závislosti na světelných podmínkách stanoviště včetně



stresových podmínek. Takové parametry bývají označovány jako funkční znaky listoví, v anglické literatuře jako leaf functional traits. Tyto znaky jsou definované jakožto souhrn fyziologických, fenologických a morfologických vlastností rostlin, které nepřímo ovlivňují jejich růst, rozmnožování a přežívání (Violle et al., 2007). Jedná se zejména o biochemické indikátory, které jsou v rostlinách zastávány širokým a různorodým spektrem látek. Tyto látky mají konkrétní funkci ve fyziologických procesech rostlin a jejich obsah i aktivita se mění v závislosti na podmínkách prostředí zejména vlivem stresových faktorů (Albrechtová et al., 2017). Díky těmto indikátorům fyziologického stavu získáváme informace zejména o aktuálním stavu porostů.

Vliv stresových faktorů způsobuje zpravidla u rostlin biochemické změny, které jsou nazývané jako indikátory stresu. Tyto indikátory stresu jsou zpravidla měřitelné, pokud je stresové zatížení úměrné (nedochází ihned k letalitě rostlin). Z tohoto důvodu rozumíme, že nesespecifické indikátory stresu (např. obsah dané biochemické látky) reagují na soubor různých faktorů prostředí a nelze jednoznačně určit konkrétní příčinu, která způsobila změnu fyziologického stavu rostliny (Ernst and Peterson, 1994).

V této diplomové práci uvažujeme mezi indikátory fyziologického stavu mlazin jedle bělokoré (nespecifické indikátory stresu) zejména fluorescenční parametr odvozený z rychlé kinetiky fluorescence chlorofylu (QY<sub>max</sub>), obsah fotosyntetických pigmentů, obsah rozpustných fenolických látek, specifickou listovou hmotnost (LMA) a obsah vody v listech (EWT). V neposlední řadě také spektrální vlastnosti listoví (odrazivost). Veškeré vybrané fyziologické indikátory stresu budou podrobně představeny v následujících podkapitolách 2.1.1–2.2.5.

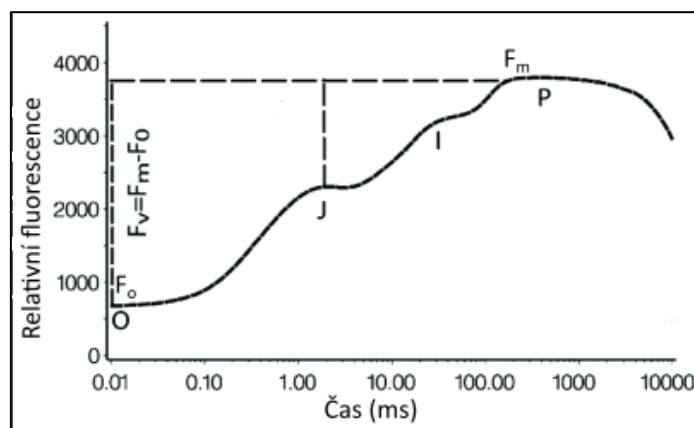
### **2.2.1 Fotosyntetický parametr stanovovaný na základě měření fluorescence chlorofylu**

Měření fluorescence chlorofylu zajišťuje možnost neinvazivní metody, která nám poskytuje důležité informace o fyziologickém stavu rostlin (Oxborough, 2004). Na základě měření rychlé kinetiky fluorescence chlorofylu (OJIP test) na vzorcích jehlic jedle byl stanovený vybraný fotosyntetický parametr. K těmto měřením byl používán ruční přístroj – FluorPen, viz kapitola 3.5.

Již zmiňovaný ruční fluometr využívá k měření rychlé kinetiky fluorescence chlorofylu takzvaný protokol OJIP testu. Kdy pro toto měření je nezbytné zastínění měřených vzorků

listoví, tj. temnostní adaptace (Yunus et al., 2014). Ono zastínění takto měřených částí rostlin je nezbytné pro pozorování indukce fluorescence, známé též jako Kautského efekt, podle Hanse Kautského, jenž objevil jev ukazující existenci proměnné fluorescence v čase po vystavení vzorku adaptovaného na tmou světlu (Stirbet and Govindjee, 2011).

Pomocí zmiňovaného FluorPenu byla tedy měřena rychlá kinetika fluorescence (OJIP test), kdy je intenzita fluorescence zaznamenána během 1 sekundy. Písmena O-J-I-P označují jednotlivé body měření fluorescence podle následující definice. Písmeno O (origin – počátek) jinak též  $F_o$ , počáteční intenzita fluorescence v čase 40  $\mu$ s; J intenzita fluorescence v čase 2 ms; I intenzita fluorescence v čase 30 ms a P (peak – vrchol) též značené jako  $F_m$ , maximální intenzita fluorescence, viz obr. 2 (Strasser et al., 2000; Tomášková et al., 2021).



**Obrázek 2:** Ilustrativní obrázek OJIP křivky naměřené ručním přístrojem FluorPen. Jednotlivá písmena O-J-I-P vyznačená na křivce, odpovídají jednotlivým bodům dle definice: O (origin – počátek) jinak též  $F_o$ , počáteční intenzita fluorescence v čase 40  $\mu$ s; J intenzita fluorescence v čase 2 ms; I intenzita fluorescence v čase 30 ms a P (peak – vrchol) též značené jako  $F_m$ , maximální intenzita fluorescence (Strasser et al., 2000). Osa x znázorňuje časovou škálu (ms) v logaritmickém měřítku a osa y znázorňuje relativní fluorescenci daného vzorku. Obrázek převzat od Palouš (2022), který upravil dle Kargar et al., (2019).

Měření rychlé kinetiky fluorescence (OJIP test) je velmi citlivé a zároveň poskytuje rychlé a podrobné informace o struktuře a funkci fotosystému II (PSII). Parametry odvozené z OJIP křivky odráží, jak primární fáze fotosyntézy daných rostlin reaguje na vnější i vnitřní podněty. Intenzita fluorescence chlorofylu vypovídá o tom, jaký podíl světla, které bylo zachyceno světlosběrnými komplexy fotosystému II na tylakoidní membráně chloroplastu, je využíván pro přenos energie v elektrontransportním řetězci fotochemických reakcí fotosyntézy. Tato metoda také odhaluje, jaká část světelné energie byla zpracována nefotochemickým způsobem, a kolik světelné energie bylo vyzářeno v podobě fluorescence (Ajigboye et al., 2018; Lawson and Vialet-Chabrand, 2018).

U vzorků, které jsou měřeny ve tmě dochází k otevření reakčního centra PSII a intenzita fluorescence je minimální –  $F_o$  (jinak též  $O$ ) – a po ozáření dochází za méně než 1 sekundu k maximální intenzitě fluorescence chlorofylu  $a$  –  $F_m$  (m jako maximum; jinak též  $P$ ), viz obr. 2. Rozdíl mezi právě  $F_m$  a  $F_o$  je nazýván jako variabilní fluorescence  $F_v$ . Pro praktické hodnocení fyziologického stavu rostlin je důležitým parametrem poměr  $F_v / F_m$ , který vyjadřuje maximální kvantový výtěžek fotosystému II. Přičemž tento poměr lze zapsat i jako  $QY_{max}$ , kdy obě tyto veličiny vyjadřují totéž. Z tohoto důvodu ve své práci uvádím maximální kvantový výtěžek fotosystému II jako  $QY_{max}$ , kdy toto označení je z anglického PSII maximum quantum yield. Ve většině vyšších rostlin v dobrém fyziologickém stavu dosahuje tato proměnná hodnot, které se pohybují v rozmezí 0,78 až 0,84. Naopak nižší hodnoty mohou poukazovat na poškození fotosyntetického aparátu stresem zejména fotoinhibicí (Björkman and Demmig, 1987; Maxwell and Johnson, 2000; Stirbet and Govindjee, 2011).

V rámci studie Robakowski and Wyka (2004) bylo provedeno měření maximálního kvantového výtěžku fotosystému II u jedle v různých měsících roku, jež vedlo k odhalení jeho sezónní variability. Měřené jedle se nacházely pod zápojem smrku ztepilého (hustý zápoj s se světelnou propustností 18 %) a modřínu opadavého (*Larix decidua* Mill.) (vysoká otevřenost zápoje se světelnou propustností až 40 %), přičemž v jarních měsících (duben, květen) byl maximální kvantový výtěžek PSII snížen až o 24 % pod porostem modřínu a pod porostem smrku byl  $QY_{max}$  snížen o 15 % oproti teoreticky očekávanému maximu nestresovaných rostlin. V červnu byl  $QY_{max}$  nižší už jen o 10 %, jak pod porostem smrku, tak i modřínu. Během července až října se  $QY_{max}$  dostal blízko teoretickému optimu. Z toho vyplývá, že pokles maximálního kvantového výtěžku fotosystému II u jedle je úzce spojen se světelným mikroklimatem daného porostu, a to zejména během jarních měsíců. V souvislosti s tím, lze říct, že porosty jedle hůře prospívají v otevřeném zápoji s vysokou světelnou propustností.

Jiná studie Kunert et al. (2022) se zabývala porovnáváním teplotní citlivosti jedle a dalších jehličnanů, která v této studii byla definována jako pokles maximálního kvantového výtěžku fotosystému II ( $QY_{max}$ ). V závislosti na rostoucí teplotě byl  $QY_{max}$  měřen na různých úrovních tepelného stresu ve srovnání s bodem ztráty turgoru jakožto odolnosti proti suchu. Ony různé úrovně tepelného stresu jsou:  $T_5$  – jako teplota na začátku (5 % poklesu  $QY_{max}$ );  $T_{50}$  – jako teplota, při které  $QY_{max}$  byla polovina maximální hodnoty (50 % poklesu  $QY_{max}$ ) a  $T_{95}$  – jako teplotu, při které zbylo pouze 5 %  $QY_{max}$  (95 % poklesu  $QY_{max}$ ). Na základně těchto měření

na různých jehličnatých stromech z mírného pásma včetně jedle bělokoré, smrku ztepilého či borovice černé (*Pinus nigra* J.F. Arnold) došli autoři studie k závěru, že smrk ztepilý je ze všech druhů nejméně tolerantní na zvyšující se teplotní podmínky. Jeho hodnoty T5 byly 38,5 °C (± 0,8 °C), T50 byly 51,6 °C (± 0,2 °C) a T95 byly 53,9 °C (± 0,2 °C). Oproti tomu jedle dosahovala nejvyšších hodnot T50 ze všech zkoumaných druhů jehličnanů a to konkrétně 52,3 °C (± 0,2 °C). Hodnoty T5 činily u jedle 39,5 °C (± 1,0 °C) a T95 byly 54,6 °C (± 0,7 °C). Jako nejtolerantnější dřevinou ze zkoumaných jehličnanů vyšla borovice černá, která dosahovala nejvyšších hodnot T95 a to 57,5 °C (± 1,4 °C). Hodnoty T5 u borovice černé činily 43,1 °C (± 0,6 °C) a T50 byly 47,8 °C (± 0,3 °C).

Z toho vyplývá, že vlivem zvyšujícího se teplotního stresu souvisejícího se změnou klimatu dochází k výraznému omezení účinnosti primární fáze fotosyntézy. Tato skutečnost v kombinaci s dalšími fyziologickými procesy, které jsou vlivem zvyšujících se teplot narušeny, může vést ke zvýšené mortalitě stromů, a tudíž i k celkově vyšší úmrtnosti lesů. Proto je nezbytné vysazování lesních porostů s různou druhovou skladbou ve snaze snižovat smrkové monokultury, které mohou být nahrazovány právě tolerantnějšími dřevinami na zvyšující se teplotní podmínky, kterými jsou například jedle bělokorá či borovice černá.

### **2.2.2 Obsah fotosyntetických pigmentů**

Fotosyntetické pigmenty v rostlinách plní nepostradatelnou fyziologickou funkci, a jsou zároveň nejběžnějším nespecifickým indikátorem stresu. U cévnatých rostlin míníme fotosyntetickými pigmenty zejména chlorofyl *a* (Chl *a*), chlorofyl *b* (Chl *b*) a karotenoidy (Kar). Všechny tyto zmíněné pigmenty jsou součástí fotosyntetického aparátu, což zajišťuje právě onu nepostradatelnou fyziologickou funkci absorpce světla. Zároveň obsah fotosyntetických pigmentů je velmi dobře měřitelný, díky čemuž můžeme zjistit, jak velkou fotosyntetickou kapacitou disponují listy rostlin a potažmo celý zkoumaný porost.

Chlorofyly *a* a *b* jsou hlavními pigmenty, které absorbují fotosynteticky aktivní záření, jelikož se nacházejí v periférii světlosběrného komplexu a pohlcují právě energii světelného záření. To znamená, že vychytávají fotony, jejichž energii posléze přesouvají do reakčních center fotosystému, které je tvořeno specifickým párem molekul chlorofylu *a*. Karotenoidy jsou stejně jako Chl *a* i Chl *b* součástí světlosběrného komplexu, kdy umožňují absorpci fotonů jiných vlnových délek, než jsou schopny absorbovat právě chlorofyly. Mimo to, karotenoidy

plní funkci zejména ochranou, to znamená, že regulují množství energie proudícího do reakčních center během nadměrného ozáření a rovněž mohou zastávat funkci zhášečů volných radikálů (reaktivních forem kyslíku - ROS) (Demmig-Adams and Adams 1996; Demmig-Adams 1998). Obsah fotosyntetických pigmentů je druhově specifický a mimo to disponuje velkou variabilitou v průběhu času a v závislosti na množství záření. Zejména obsah karotenoidů je značně variabilní v průběhu roku, což je výsledkem jejich ochranné funkce fotosyntetického aparátu (Kirchgeßner et al., 2003; Öquist and Huner, 2003). V souvislosti s výše zmíněným je tedy zřejmé, že vlivem různé ozářenosti dochází i k různému obsahu fotosyntetických pigmentů v rámci koruny stromu. Přičemž tento fakt je nutné zohledňovat během odběrů vzorků, a i během interpretace následných, zejména biochemických analýz (Albrechtová et al., 2017). Současně je také nutno říct, že fotosyntetické pigmenty jsou citlivé na měnící se podmínky prostředí, díky čemuž dochází ke změnách jejich obsahu v listoví, což může být velmi dobrý ukazatel právě fyziologického stavu rostlin.

Jednou z takových studií, která se zabývala obsahem fotosyntetických pigmentů u různých druhů dřevin, včetně jedle bělokoré, v listoví v závislosti na jejich ozářenosti je Lichtenthaler et al. (2007). Ve své studii autoři srovnávali obsah fotosyntetických pigmentů ku suché hmotnosti listů ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Přičemž u jedle popsali signifikantní rozdíl v obsahu pigmentů mezi slunnými a stinnými jehlicemi. Jehlice, které byly ve stinných podmínkách obsahovaly výrazně vyšší obsah celkového chlorofylu Chl ( $a+b$ ) oproti slunným jehlicím. Stejně tomu bylo i u celkového obsahu celkových karotenoidů, nicméně tam nebyl rozdíl již tak markantní. Současně došlo ke srovnání poměru Chl  $a$  ku Chl  $b$  (Chl  $a/b$ ) a také hmotnostního poměru celkových chlorofylů k celkovým karotenoidům (Chl ( $a+b$ ) / Kar). Přičemž Chl ( $a/b$ ) byl vyšší u slunných jehlic a naopak Chl ( $a+b$ ) / Kar byl vyšší u stinných jehlic. Z těchto měření vyplývá, že obsah fotosyntetických pigmentů v listoví umožňuje velmi přesné rozlišení mezi fotosyntetickou aktivitou slunných a stinných listů, které lze používat ke zjišťování různých vlivů stresových podmínek.

Stejně jako Lichtenthaler et al. (2007) se studiem mimo jiné fotosyntetických pigmentů u jedle zabývali ve své studii i Robakowski et al. (2004). V rámci své studie pracovali s tříletými sazenicemi jedlí vysazenými v různých porostech představující přirozené stínění v různé míře. Například sazenice jedle pod modřínem (otevřenost zápoje  $\pm 45\%$ ) měly konzistentně vyšší rychlost čisté fotosyntézy po celý den ve srovnání se sazenicemi rostoucími pod porostem

smrku (otevřenost zápoje  $\pm 17 \%$ ), nicméně u obou těchto porostů se kvantový výnos PSII pohyboval okolo 0,8, což naznačuje, že sazenice jedle pod zápojem modřínu netrpěly přímo fotoinhibicí. Nicméně jedle rostoucí právě pod zápojem modřínu vykazovaly silnější jehlice s vyšším obsahem celkového chlorofylu a karotenoidů na plochu jehlice nikoliv však na sušinu jehlice. Z tohoto plyne, že modifikace struktury jehlic je jednou z hlavních složek aklimatizací jedlí na světelné podmínky. Stejně tak autoři Grassi and Bagnaresi (2001) ve své práci zmiňují, že v závislosti na zvyšující se relativní ozářenosti dochází u porostů jedlí k snížení obsahu celkových chlorofylů v jehlicích. Tato skutečnost opět poukazuje na fakt, že jedle bělokorá má omezenou schopnost využívat podmínek vysoké ozářenosti.

### **2.2.3 Obsah rozpustných fenolických látek**

Fenolické látky (fenoly) jsou heterogenní skupinou spadající mezi sekundární metabolity rostlin. V rámci sekundárních metabolitů rostlin je to nejpočetnější skupina metabolitů, jejichž počet je v současnosti kolem osmi tisíc (Dai and Mumper, 2010). Sekundární metabolity se od primárních metabolitů rostlin liší svojí rozmanitější chemickou i strukturní stavbou. Přičemž sekundární metabolity nejsou primárně nezbytné pro základní fotosyntetický či respirační metabolismus, nicméně plní důležitou funkci pro přežití rostlin v daném prostředí kvůli jejich sesilné povaze (Lattanzio, 2013).

Chemická struktura fenolických látek je tvořena jedním nebo více aromatickými kruhy, které na sebe vážou jednu či více hydroxylových skupin. Fenoly tedy tvoří rozmanité spektrum látek od jednoduchých molekul jako jsou například fenolické kyseliny až po vysoce polymerizované molekuly, kterými jsou například taniny. Fenolické látky můžeme rozdělit celkem do osmi skupin, kam se řadí mimo již zmíněné fenolické kyseliny a taniny, také flavonoidy, isoflavonoidy, prenylované flavonoidy, deriváty kumarinu, deriváty stilbelinu a další ostatní fenolické látky (Dai and Mumper, 2010).

Fenolické látky plní v rostlinách rozmanité spektrum funkcí, které zahrnuje jednak signalizační funkce (interakce s okolním prostředím), nicméně slouží zejména jako ochrana proti působení různých forem stresových podmínek. Mezi takovéto stresové podmínky lze zařadit vliv působení intenzivního UV záření, kdy mohou vznikat reaktivní formy kyslíku (ROS) anebo působení různého biotického stresu jako například působení patogenů nebo herbivorních organismů. V souvislosti s výše zmíněným jsou rozpustné fenolické látky považovány za

nespecifické indikátory stresu rostlin, jejichž syntéza se během působení právě stresových faktorů zvyšuje (Albrechtová et al., 2017; Martens et al., 2010).

Ve studii Gérardin et al. (2023), která se zabývala sukou větví (které jsou zapuštěné do kmene stromu – základy bočních větví nebo spících pupenů) různých jehličnanů, včetně jedle, dospěli k závěru, že právě v těchto částech se nachází zvýšený obsah fenolů. Pravděpodobnou příčinou vyšší koncentrace fenolů v této části je zřejmě ta, že suky mohou poskytnout snadný přístup pro napadení patogeny. Z tohoto důvodu je zde právě vyšší koncentrace fenolických látek, aby případné napadení patogeny nepostoupilo dále do kmene stromu. Obdobně i studie Ancuceanu et al. (2023) ukazuje vysoký obsah různých fenolických látek u jedle, přičemž uvádí, že suky obsahují 13 % fenolických látek a oproti tomu jádrové dřevo pouhých 2 %.

Dalším důvodem vyšší akumulace fenolů v jehlicích stromů je působení vyšší ozáření. Tomuto trendu se věnovala studie Brzezinska and Kozłowska (2008), která se zabývala jehličnatými stromy. Konkrétně je zde zahrnut – tis červený (*Taxus baccata* L.), zerav západní (*Thuja occidentalis* L.) a jalovec obecný (*Juniperus communis* L.), přičemž byly zkoumány nejmladší a dva roky staré jehlice těchto stromů. Tyto druhy se mezi sebou liší mimo jiné různými požadavky na světelné podmínky. Výsledky studie dokazují, že obsah fenolů se značně liší v závislosti na různých světelných podmínkách i v důsledku stáří rostliny. U tisu, který je spíše stínomilný, došlo k vyšší akumulaci fenolů na slunném stanovišti, nicméně tento trend se otočil u jehlic, které byly starší a na dané podmínky byly již adaptované. Obdobný trend s nárůstem fenolů u starších jehlic vykazovaly i stromy zeravu a jalovce. Nicméně oba tyto druhy jsou spíše světlomilné, a proto byl u těchto stromů naměřen vyšší obsah fenolických látek na slunných lokalitách.

V rámci sepisování podkapitoly 2.2.3 obsah rozpustných fenolických látek se mi nepodařilo dohledat relevantní informace o obsahu právě fenolických látek v jehlicích jedle bělokoré v reakci na různé světelné podmínky či stresové podmínky. Z tohoto důvodu jsou v této podkapitole uvedeny takové práce, které jsou co možná nejvíce odpovídající popisované problematice, a to akumulaci fenolických látek při působení různých biotických (např. napadení patogeny) či abiotických stresorů (např. různá světelná ozáření).

V rámci této diplomové práce byl stanovován pouze celkový obsah rozpustných fenolických látek bez následné vlastní identifikace jednotlivých fenolických látek, a to zejména kvůli lepší

technické i finanční dostupnosti. Vlastní identifikaci jednotlivých fenolických látek umožňuje zejména chromatografie, a to vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC) (Hunt et al., 2023) anebo plynová chromatografie (GC) (Dhuli et al., 2014) obojí s kombinací s hmotnostní spektrometrií. Již zmiňovaný celkový obsah fenolických látek byl v rámci této práce proveden biochemicky spektrofotometrickou metodou, která je blíže popsána v podkapitole 3.7.2.

#### **2.2.4 Specifická listová plocha, specifická hmotnost a obsah vody v listech**

Specifická listová plocha je společně s výše popsány parametry rovněž důležitou a prakticky velmi využívanou veličinou v oborech studujících vegetaci. Samotná specifická listová plocha (SLA – specific leaf area) představuje poměr listové plochy k suché hmotnosti listu (Vile et al., 2005). Což tedy vypovídá o samotné biomase listu, respektive jehlice. SLA je tedy ovlivňována dostupností světla na daném stanovišti i v rámci koruny stromu. Převrácenou hodnotou SLA je LMA (leaf mass per area) neboli specifická hmotnost listu vztažená na projekční plochu, která je využívána i v rámci této práce. Tato hodnota (LMA) naopak představuje poměr hmotnosti ku ploše listu a stejně jako SLA se využívá jako indikátor variace ve struktuře listů v závislosti mimo jiné na světelných podmínkách (Reich et al., 1998; Robakowski and Bieliniš, 2017).

Úzce související parametr se specifickou listovou plochou je obsah vody v listech. Obsah vody v listech rostlin je ovlivněn mimo samotného ekotypu rostliny i prostředím, ve kterém se daná rostlina nachází (Aranda et al., 1996). Relativní obsah vody v listech rostlin je vyjadřován relativně, jako poměr rozdílu čerstvé a suché hmotnosti ku rozdílu hmotnosti listu plně nasyceného vodou a suché hmotnosti listu, respektive jehlice. Relativní obsah vody (RWC) z angl. leaf relative water content je důležitým ukazatelem stavu vody v rostlinách (Lugoian and Ciulca, 2011). Obsah vody v listech může být vyjádřen i jako EWT, z angl. equivalent water thickness, tedy hmotnost vody na jednotku plochy listu a využívá se zejména v dálkovém průzkumu Země jakožto indikátor fyziologického stavu rostlin (Junttila et al., 2017). Snížení hodnot EWT bylo identifikováno jako časný signál na stresové podmínky způsobené nedostatkem vody anebo jako odpověď na biotický stres způsobený hmyzími škůdci v lesních ekosystémech (Skakun et al., 2003; Wulder et al., 2006). V rámci této práce bude obsah vody vyjadřován jako EWT, jelikož i ostatní zvolené biofyzikální parametry jsou vztahovány na jednotku plochy listoví.



V rámci různého osvětlení nejen dané lokality, ale i v rámci koruny stromů dochází k různým morfologickým a anatomickým změnám v jehlicích. Kdy většina z nich poměrně dobře odpovídá „klasické“ diferenciaci slunných a stinných listů krytosemenných rostlin. Slunné jehlice jedle jsou většinou stejných velikostí i tvarů, ovšem jejich vsazení na ose výhonu je šroubovitě, díky čemuž dochází k vzájemnému stínění jehlic, což slouží jakožto adaptace na vysoké sluneční ozáření a s tím úzce spojené ztráty vody. Ono šroubovitě uspořádání by mohlo být možným vysvětlením, proč nejsou slunné jehlice u jedle bělokoré zmenšeny a mohou být dokonce i výrazně delší než jehlice stinné. Naopak jehlice stinné jsou střídavě uspořádány po krátkých a dlouhých jehlicích, aby se zabránilo dalšímu stínění v částech už tak málo osvětlené koruny stromu (Dörken and Lepetit, 2018). Podle studie Robakowski et al. (2004) byly jehlice jedle rostoucí pod zápojem modřínu (vyšší ozáření) širší v průměru až o 20 % a celkově silnější než jehlice rostoucí pod zápojem smrkového porostu (nižší ozáření). Rovněž jehlice rostoucí pod modřínovým porostem měly větší hustotu průduchů, silnější epidermis a silnější palisádový parenchym. Z toho vyplývá, že i přes to, že jedle patří mezi stínomilné druhy, dokáže se aklimatizovat a využívat relativně vysoké osvětlení pod zápojem modřínu. Lze tedy předpokládat, že SLA bude menší u slunných listů oproti listům stinným. Jelikož slunné jehlice potřebují při stejné hmotnosti pro absorpci světla menší plochu než listy stinné. Zároveň LMA bude naopak vyšší u slunných listů, protože LMA je převrácenou hodnotou SLA.

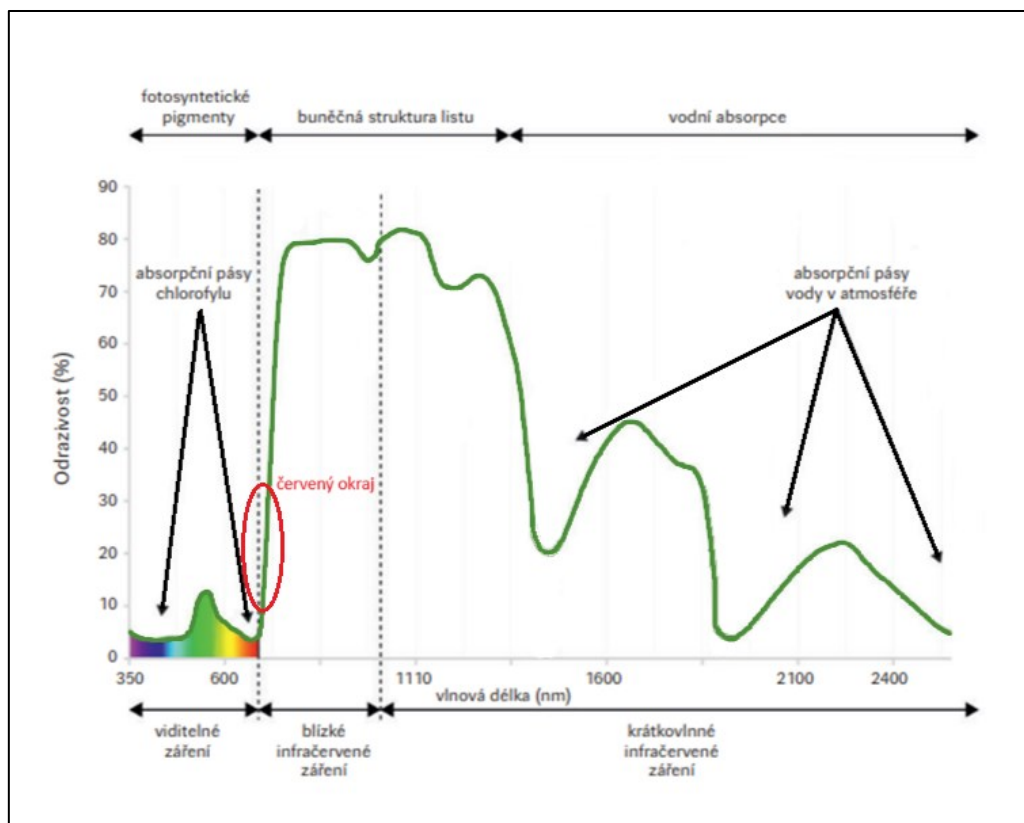
Strukturou a obsahem vody v jehlicích se rovněž zabývali ve své práci Robakowski and Bielinis (2017). Tito autoři dospěli k závěru, že obsah vody v jehlicích s věkem lineárně klesal a současně docházelo ke zvyšování specifické hmotnosti jehlic (tj. LMA) a to exponenciálně s věkem jehlic. Nicméně podle designu práce není zcela jednoznačné, zda se dané znaky mění spíše s věkem anebo je tento trend způsobený různou světelnou ozářeností. Je to z toho důvodu, že v rámci této práce Robakowski and Bielinis (2017) byly starší jehlice zastíněné a tudíž mohly představovat i trend snížené ozářenosti. U smrku ztepilého se obsah vody vztažený na plochu jehlice (EWT) snižoval od osluněných jehlic v horních částech koruny směrem k částem zastíněným (Homolová et al., 2013).

### **2.2.5 Spektrální vlastnosti listoví – odrazivost**

Spektrální vlastnosti v určitých částech elektromagnetického spektra nám odrážejí různé biochemické a strukturální charakteristiky listoví, kdy v rámci této práce se pod pojmem listoví

míní jehlice jedle bělokoré. Spektrální nebo též optické vlastnosti listoví jsou založené na měření reflektance (odrazivosti), absorbance (pohlčení) a transmitance (propustnosti) světla listovím. Mezi nejdůležitější oblasti elektromagnetického spektra v rámci posuzování spektrálních vlastností listoví patří – viditelné záření (VIS, anglicky „visible spectrum“), které se pohybuje ve vlnových délkách 350–750 nm; blízké infračervené záření (NIR, anglicky „near infrared“), 750–1200 nm a krátkovlnné infračervené záření (SWIR, anglicky „short-wave infrared“) pohybující se ve vlnových délkách 1200–2500 nm. Měření odrazivosti v rámci této diplomové práce bylo provedeno pomocí kontaktní sondy, která je součástí spektrofotoradiometru (viz kapitola 3.9), který měří záření v rozsahu 350–2500 nm.

Spektrální vlastnosti daného povrchu, v našem případě listoví, lze popsat pomocí tzv. reflektanční křivky neboli křivky spektrální odrazivosti. Z tvaru této křivky (viz obr. 3) lze vyvozovat různé informace a to například jaký je obsah fotosyntetických pigmentů, fenolických látek nebo vody v listech (Albrechtová et al., 2017; Gates et al., 1965). Přičemž právě tyto indikátory – spektrální vlastnosti – přinášejí zejména možnost monitorování fyziologického stavu rostlin, jelikož vliv stresových podmínek ovlivňuje i optické vlastnosti rostlin. Právě tyto nedestruktivní metody měření optických vlastností umožňují rychlou a přímou *in-situ* analýzu fyziologického stavu rostlin oproti metodám založeným na biochemických analýzách. Dopadající záření různě interaguje s listovím (buněčnými strukturami i s látkami v něm obsaženými) a podle typu interakce lze vhodně umístěným senzorem změřit optické vlastnosti (reflektance, absorbance, transmitance). V závislosti na vlnové délce dopadajícího záření lze odhadovat právě fyziologické a strukturní parametry listoví, respektive rostlin, díky kterým můžeme vyvozovat jaký je aktuální fyziologický stav porostu (Dobrota et al., 2015).



**Obrázek 3:** Ilustrativní křivka spektrální odrazivosti zdravé vegetace společně s vyznačenými hlavními charakteristickými oblastmi v elektromagnetickém spektru, včetně červeného okraje (anglicky Red-edge), vypovídající o fyziologickém stavu rostlin. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS) s absorpčními minimy způsobenými přítomností chlorofylu; 750-1200 nm (NIR) vysoká odrazivost záření způsobena vlivem odrazu záření od buněčných struktur a 1200-2500 nm (SWIR) s absorpčními pásmy vody. Na ose y je vynesena odrazivost (%) vegetace. Upraveno podle Jensen (2014) a Albrechtová et al. (2017).

Spektrální vlastnosti listoví lze velice efektivně využívat i při mapování konkrétních dřevin napříč krajinou pomocí dálkového průzkumu Země. Kdy takto získaná data poskytují informace o složení, rozšíření a diverzitě dřevin, což má opět velký význam na rozvoji lesního hospodářství včetně snahy zachovávat právě rozmanitou skladbu dřevin (Shi et al., 2021; Suratman, 2012).

Z odrazivosti listoví lze pro praktické účely hodnocení fyziologického stavu spočítat různé vegetační indexy. Vegetační indexy jsou relativní veličiny a představují zpravidla poměry nebo normalizované rozdíly odrazivosti v konkrétních vlnových délkách (Albrechtová et al., 2017). Pomocí kalibračních vztahů lze následně vegetační indexy použít jako kvantitativní vyjádření určitého znaku listoví případně vegetace. Takovýmto znakem je například obsah fotosyntetických pigmentů v listech nebo obsah vody (Bannari et al., 1995). Díky těmto

vegetačním indexům lze získat informace o fyziologickém stavu rostlin a to právě onou neinvazivní cestou (Gitelson and Merzlyak, 1997).

Studie Shi et al. (2021) se zabývala hodnocením různých vegetačních indexů odvozených z hyperspektrální odrazivosti, mimo jiné na jedli bělokoré, za pomoci dálkového průzkumu Země. Měřenými parametry byly například celkový obsah chlorofylu v listoví (odvozený z odrazivosti ve vlnových délkách 700 a 714 nm) nebo obsah vody v listech (odvozený z odrazivosti ve vlnové délce 1201 nm). Přičemž oba tyto parametry jsou důležitými ukazateli, které vypovídají o fyziologickém stavu porostu. Díky vzájemným vazbám mezi spektrálními a strukturními rysy a druhově specifickým vlastnostem jednotlivých dřevin lze efektivně mapovat druhové složení dřevin v lesních porostech a přispívat tak k jejich větší ochraně a následné variabilitě. Další studií, která se rovněž zabývala aplikací sledování fyziologického stavu dřevin pomocí spektrálních vlastností listoví je studie Tang et al. (2023), provedená konkrétně na ostrolistci kopinatém (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) známým též jako jedle čínská. V rámci této studie byly zkoumány skupiny poškozených a zdravých jedlí čínských, na základě čehož byly identifikované vhodné vegetační indexy, právě pro včasné monitorování škůdců a chorob. Bylo zjištěno, že spektrální křivky mezi těmito dvěma skupinami jedlí čínských se značně liší. Přičemž bylo vyhodnoceno, že pozice REIP (Red-edge inflection point neboli pozice inflexního bodu červeného okraje), který se nachází v oblasti červeného okraje (Red-edge) (viz obr. 3), v rámci spektrálních křivek je velmi dobrý ukazatel fyziologického stavu dřevin. Díky REIP lze účinně rozlišit jemné rozdíly v odrazivosti listů právě mezi poškozenými a zdravými jedinci jedlí čínských. Na základě výše zmíněného je zřejmé, že spektrální vlastnosti listoví patří rovněž mezi důležité ukazatele fyziologického stavu vegetace.

## **3 Materiál a metody**

### **3.1 Materiál**

Studovaným druhem byla jedle bělokorá. Právě jehlice tohoto druhu stromu byly využívány pro veškerá měření v rámci této diplomové práce. Vzorke byly odebírány celkem na pěti stanovištích s předpokládaným různým světelným mikroklimatem (podrobný popis v kapitole 3.3 charakteristika stanovišť).

Na všech pěti stanovištích (Holičky, Kocanda 2, 3, 4 a Znětínek) bylo vybráno deset jedinců (značených 0-9) v mlazinách jedle bělokoré, které jsou reprezentativní z hlediska sociálního postavení a tloušťky kmene. Výška jedinců nebyla měřena, pouze odhadnuta, a to na výšku v rozmezí 5 až 7 m. V rámci všech stromů na daných lokalitách docházelo vždy k odběru pouze části jedné větve, která se nacházela ve vrcholové části koruny stromu. Tato vrcholová část větve byla exponovaná slunečnímu záření a jedná se tedy o tzv. slunnou větev.

### **3.2 Metodika odběru vzorků**

Odběr vzorků jehlic jedle bělokoré probíhal v rámci všech vybraných stromů (0–9) na daných lokalitách stejně, a to sice za pomoci teleskopických nůžek. Pomocí těchto nůžek, byla vždy ustřižena jedna větev, exponovaná slunečnímu záření. Následně bylo zahájeno měření, které je možné provést v terénních podmínkách, a to měření rychlé kinetiky fluorescence za pomoci přístroje FluorPen. Toto měření probíhalo v rámci každé jedné slunné větve, ze které byly využívány pouze nejmladší výhony (jaro 2. ročník jehlic, léto 1. ročník jehlic). Z těchto výhonů bylo náhodně vybráno 5 jehlic, na kterých následně docházelo k měření. Tyto jehlice byly zatemněny po dobu 20 minut „kolíčkem“ a po uplynutí této doby došlo k změření již zmiňované rychlé kinetiky fluorescence pomocí tzv. OJIP testu, viz kapitola 3.5.

Veškerá další měření byla uskutečňována již v laboratorních podmínkách. Z tohoto důvodu byly všechny výhony, na kterých měření v terénních podmínkách již proběhlo, náležitě uskladněny. To znamená, že byly uloženy do plastových uzavíratelných sáčků, které byly dále vloženy do chladících boxů, ve kterých byly jednotlivé výhony převezeny do laboratoře.

Následující den po terénním výjezdu byly jehlice z nejmladších výhonů dále zpracovávány, což je popsáno v dalších kapitolách.

Celkem byly provedeny dva terénní výjezdy s odběrem vzorků na daných lokalitách, tak aby bylo možné zachytit vývoj jedné vegetační sezóny a s tím spojený vývoj hodnot jednotlivých indikátorů. První série terénních odběrů proběhla ve dnech 17. 4., 22. 5. a 31.5. 2023 (dále označované jako odběr jaro nebo jarní odběr). Druhá série odběrů potom proběhla 24. 8. 2023 a 31. 8. 2023 (dále označované jako odběr léto nebo též letní odběr).

### **3.3 Charakteristika stanovišť**

Celkem pět výzkumných lokalit, na kterých se vyskytují porosty jedle v růstové fázi mlaziny až tyčkoviny ve věku přibližně 10 až 17 let. Tyto porosty jedlí reprezentující různé světelné mikroklima a byly vybrány ve spolupráci s Ing. et Ing., Mgr. Pavlem Bednářem, Ph.D. z Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., (VÚLHM).

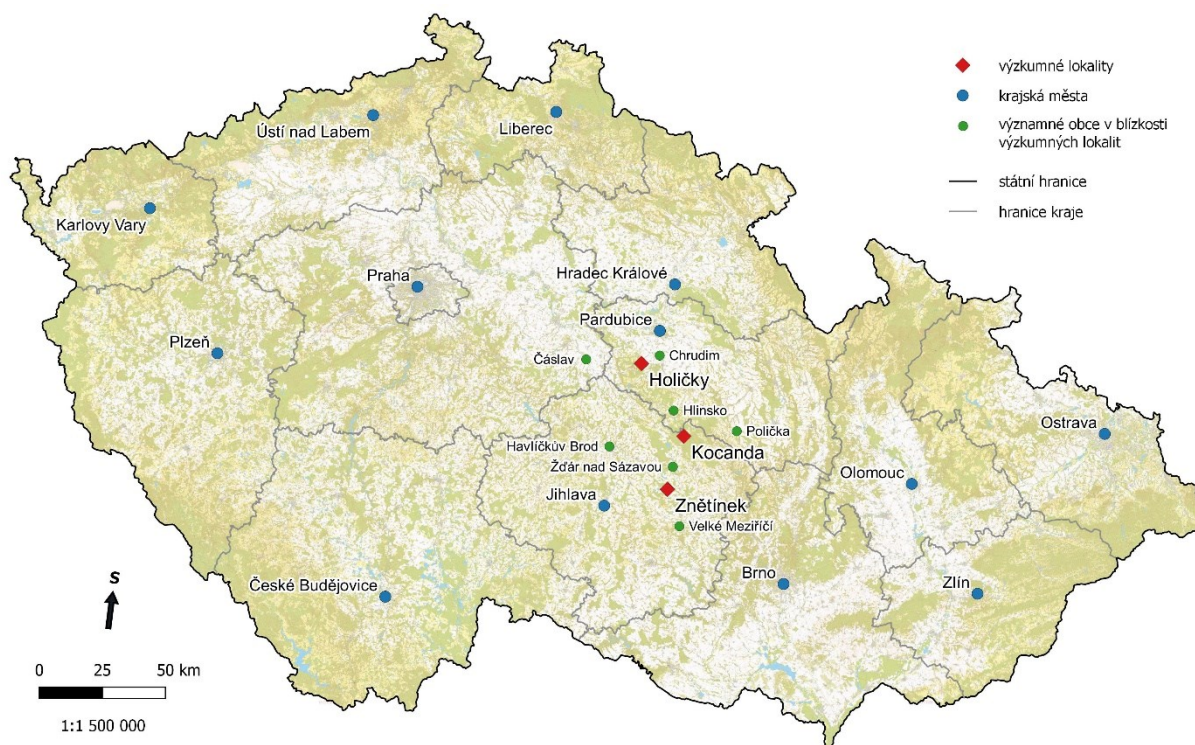
Podmínky stanovující různé světelné mikroklima jsou určeny přirozeným i umělým typem obnovy lesních porostů, viz níže. V této diplomové práci se u umělé obnovy konkrétně jedná o clonnou seč, skupinovou seč – kotlík, násečnou seč – násek a v neposlední řadě, je zde zahrnuta i holá seč. Bližší charakteristika jednotlivých obnovních prvků lesních porostů je v následujících podkapitolách 3.3.1–3.3.3. První reprezentativní plocha představuje přirozený typ obnovy (Holičky). Další plochy jsou již stanovišti umělé obnovy a konkrétně druhá reprezentativní plocha představuje clonnou seč (Kocanda 2). Třetí plocha je reprezentována skupinovou sečí (Kocanda 3) a čtvrtá plocha je reprezentovaná násečnou sečí (Kocanda 4). Poslední, pátá reprezentativní plocha je představovaná holou sečí (Znětínek). Lokalizace výzkumných ploch je znázorněna na mapě na obrázku 4 a jejich bližší popis je rovněž v podkapitolách 3.3.1–3.3.3. Údaje pro popis lesního typu byly dle souřadnic získány z map Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL) (dostupné na <https://geoportal.uhul.cz/mapy/MapyOpri.html>, stav k 24.2. 2024). Údaje o geologickém podloží a půdním typu byly získány z online map České geologické služby (dostupné na <https://mapy.geology.cz/pudy/#>, stav k 24.2. 2024).

## **Přirozená obnova**

Přirozeným typem obnovy se míní takové stanoviště, kde dochází k zachování původních i nepůvodních populací, které se na tomto stanovišti geneticky osvědčily (Vacek et al., 2009). To znamená, že nové lesní porosty vznikají autoreprodukcí mateřského porostu (Kantor et al., 2013). K tomuto typu obnovy dochází nejčastěji v chladnějších oblastech s dostatečným množstvím srážek ve středních až vyšších polohách. Přirozená obnova tak zajišťuje dobré přizpůsobení mikro-stanovištním podmínkám, kterých nelze jinak docílit. Díky tomuto se vylučuje riziko použití nevhodného reprodukčního materiálu na daném stanovišti obnovy a zároveň se zachovává vysoká genetická diverzita populací (Vacek et al., 2009).

## **Umělá obnova**

Umělá obnova je využívána na stanovištích, kde se z dlouhodobého hlediska přirozené obnově nedaří uspět (Vacek et al., 2009). To znamená, že nové lesní porosty jsou zakládány uměle, a to sadbou sazenic nebo výsevem semen (Kantor et al., 2013). Tohoto je využíváno zejména i na stanovištích, kde je nutné podpořit geneticky nevhodné porosty. Důležitou podmínkou pro umělou obnovu je geneticky kvalitní sadební materiál, který zajistí vysokou úspěšnost ujmoutí semen a jejich zdárný vývoj. Umělá obnova lesa se rovněž zapřičiňuje ve zvyšování genetické kvality budoucích porostů, které ovšem nejsou nijak závislé na druhové skladbě mateřského porostu, jako je tomu právě u přirozené obnovy (Vacek et al., 2009).



**Obrázek 4:** Orientační rozmístění výzkumných lokalit na mapě Česka. Červené body v mapě znázorňují výzkumné lokality. Holičky – přirozená obnova; Kocanda – clonná seč, skupinová seč a násečná seč (umělá obnova) a Znětínek – holá seč (umělá obnova). Modré body znázorňují krajská města a zelené body pak znázorňují významné obce v blízkosti výzkumných lokalit. Mapa vytvořena v open source programu QGis.

### 3.3.1 Lokalita přirozené obnovy – Holičky

Holičky jsou první reprezentativní plochou, která představuje přirozený typ obnovy (viz výše kapitola 3.3) s pravděpodobně střední mírou stínění dospělým porostem. V případě této lokality jde o přirozenou obnovu, která ovšem není pod clonou mateřského porostu jedle bělokoré, ale jedlové mlaziny rostou pod clonnou tvořenou směsicí stromů borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) a dubu letního (*Quercus robur* L.).

Výzkumná plocha přirozená obnova (Holičky) se nachází u stejnojmenné obce Holičky. Tato lokalita se nachází na Holičské jedlině jihovýchodně od Heřmanova Městce. Holičky jsou součástí Českomoravské vrchoviny konkrétně Železných hor. Lokalita Holičky se nachází v dubobukovém lesním vegetačním stupni na souřadnicích 49,9140528°N; 15,6992531°E v nadmořské výšce 385 m. Tato lokalita je lesním typem 301, což je oglejená svěží jedlodubová bučina modální. Současně se nachází na geologickém podloží tvořeném světlým křemencem a kvarcitem. Půdní typem na této lokalitě je pseudoglej kambický:luzizem modální (PGk:LUM).



### 3.3.2 Lokality umělé obnovy – Kocanda

Na lokalitě Kocanda, která se nachází v Českomoravské vrchovině, konkrétně v chráněné krajinné oblasti Žďárské vrchy máme celkem tři oddělené a na sobě nezávislé výzkumné lokality. Tyto tři lokality představují různé lesní obnovní seče s rozdílnými pravděpodobnostmi ozářenosti, respektive s rozdílnou mírou stínění daného porostu. Všechny tyto výzkumné plochy Kocanda se nacházejí v nadmořské výšce kolem 740 m.

**Kocanda 2** je představována umělým typem obnovy, stejně jako i zbylé lokality Kocanda 3 a 4. Umělá obnova je blíže popsána v kapitole 3.3. V rámci této lokality se uplatňuje umělá obnova typu clonná seč, což je pravděpodobně stanoviště s největší mírou stínění dospělým porostem. Lokalita Kocanda 2 se nachází na souřadících 49.6635094°N, 15.9746097°E v jedlobukovém lesním vegetačním stupni. Je tvořena lesním typem 5I5 neboli kyselou hlinitou jedlovou bučinou vlhčí. Nachází se na geologickém podloží tvořeném biotitickou a dvojslidnou rulou až svorovou rulou. Půdní typ je zde pseudoglej modální:kambizem dystrická (PGm:KAd).

**Kocanda 3** je další výzkumnou lokalitou umělé obnovy, která je představována skupinovou sečí. Tento typ obnovní seče představuje pravděpodobně střední míru stínění. Lokalita Kocanda 3 se nachází stejně jako Kocanda 2 v jedlobukovém lesním vegetačním stupni na souřadnicích 49.6695486°N, 15.9929700°E. Tato plocha je tvořena lesním typem 6P1, což je oglejená kyselá smrková jedlina modální s půdním typem (PGm) – pseudoglej modální.

Poslední lokalitou v této oblasti je **Kocanda 4**, která je stejně jako předchozí lokality Kocanda 2 a 3 umělým typem obnovy nicméně se zde konkrétně jedná o násečnou seč, která je rovněž pravděpodobně lokalitou se střední mírou stínění dospělým porostem. Lokalita Kocanda 4 se nachází na souřadnicích 49.6660833°N, 15.9929950°E. Tato výzkumná lokalita je tvořena lesním typem 6V2 neboli vlhká smrková bučina chudší a nachází se v jedlobukovém lesním vegetačním stupni. Současně je tato lokalita tvořena horninou dvojslidný migmatit až ortorula a půdním typem je zde (KAd) kambizem dystrická. Podrobnější informace o obnovních sečích, lokalit Kocanda, jsou popsány dále v textu.

#### Clonná seč

Obnovu lesa clonnou sečí lze považovat za nejrozšířenější způsob obnovy lesních porostů, která je zpravidla vázaná na přirozený typ obnovy (Kantor et al., 2013). Během tohoto způsobu

obnovy dochází k postupnému těžení nežádoucích anebo zralých stromů mateřského porostu (Korpel', 1991). Pozvolným snižováním zápoje dochází k navýšování přísunu světla, tepla a srážek, díky čemuž se zvyšuje i půdní vlhkost. Díky tomu dochází k vytváření ideálních podmínek pro nasemenění, ujmoutí a následné odrůstání nových žádoucích dřevin (náletu a nárostu) na dané ploše (Kantor et al., 2013; Korpel', 1991). Clonná seč může být mimo jiné využívána v rámci umělé obnovy lesních porostů, kdy jsou pod clonu mateřského porostu dřeviny vysazovány uměle, a to v podobě podsadby anebo podsíje (Kantor et al., 2013).

### **Skupinová seč**

Skupinová seč označovaná také jako kotlíková seč anebo též jen jako kotlík je typem obnovovací seče, kdy dochází zejména k jednorázovému zmýcení stromů, které se nachází na lokalitě oválného nebo kruhového charakteru. U kotlíkového typu obnovy šířka zpravidla nepřesahuje výšku obnovovacího porostu. Výchozí velikost kotlíku nepřesahuje 0,3 ha díky čemuž vytváří specifické mikroklima (Kantor et al., 2013).

### **Násečná seč**

Násečná seč neboli také násek, je řazen mezi pruhové holé seče, kdy se od holoseče liší pouze velikostí zmýceného lesního porostu, viz níže podkapitola 3.3.3 - holá seč.

### **3.3.3 Lokalita umělé obnovy – Znětínek**

Znětínek je poslední reprezentativní výzkumnou plochou. Stejně jako všechna stanoviště Kocanda, tak i Znětínek je představován umělým typem obnovy. Konkrétně se jedná o holou seč, která je popsána níže. Tato výzkumná lokalita se nachází u stejnojmenné obce Znětínek, která je rovněž součástí Českomoravské vrchoviny. Konkrétně se jedná o Křížankovskou vrchovinu, která leží nedaleko chráněné krajinné oblasti Žďárské vrchy jižně od Žďáru nad Sázavou.

Tato lokalita se nachází v bukovém lesním vegetačním stupni na souřadnicích 49,4812589°N; 15,9258356°E v nadmořské výšce 579 m. Současně je tato lokalita lesním typem 5P1 neboli oglejená kyselá jedlina modální v bukovém vegetačním stupni. Nachází se na geologickém podloží tvořeném pararulou s půdním typem pseudoglej dystrický:kambizem dystrická (PGd:KAd).

### **Holá seč**

Holá seč neboli také holoseč je dalším typem obnovovací seče, při níž dochází k jednorázovému zmýcení všech stromů na dané ploše. Tato charakteristika řadí holoseč mezi umělé typy obnovy, která je mimo jiné limitována minimální šířkou holé seče. Tato šířka holé seče musí přesáhnout střední výšku obnovovacího porostu. To znamená, že velikost holé seče nepřesáhne 1 ha a šířka je tedy menší nebo rovna dvojnásobné výšce mýceného lesního porostu (Kantor et al., 2013).

Pokud není tato podmínka splněna a dojde k zmýcení stromů na ploše, která je užší než výška mýceného porostu, jedná se o násečný hospodářský systém. Dochází tedy k mýcení na ploše, jejíž velikost nepřesahuje jeden hektar a jejíž šířka nepřesahuje výšku obnovovaného lesního porostu (Kantor et al., 2013).

Během obnovy lesních porostů holosečným způsobem není nijak problémová těžba, která je mechanizována včetně opětovného zalesnění. Nicméně vlivem rozsáhlého zmýcení často dochází ke zhoršení mimoprodukčních funkcí lesa. Pokud je obnova lesního porostu neúspěšná, může taktéž docházet ke zhoršování půdy vlivem změny chemických a fyzikálních vlastností. Rovněž může na takové lokalitě docházet k vyšší intenzitě záření, vyšší rychlosti větru a v neposlední řadě i k výkyvu svrchních zásob vody v půdním profilu vlivem neexistující intercepce (Kantor et al., 2013).

### **3.4 Stanovení mikroklimatických podmínek stanovišť**

Kromě světelných podmínek určených daným obnovným prvkem (typ seče) byly uvažovány i další mikroklimatické podmínky a parametry, kterými jsou měření přírůstů (průměru kmenů) jedlí, viz tab. 5. Mimo měření přírůstů došlo k měření vzdušné teploty a měření půdních teplotních podmínek společně s půdní vlhkostí. Měření přírůstů a vzdušných teplotních podmínek bylo zajištěno pomocí bodových dendrometrů. Měření půdní teploty a vlhkosti bylo zajištěno datalogery TMS- 4. Bodový dendrometr a TMS-4 datalogger jsou popsány v podkapitolách níže, 3.4.1 a 3.4.2. Oba tyto datalogery jsou vyrobeny firmou TOMST. Tato firma je v Česku od roku 1995 původně pod názvem Tomáš Haase-TOMST a od roku 2024 pod názvem TOMST s.r.o.

### 3.4.1 Bodový dendrometr

Měření přírůstků bylo na stanovištích zajištěno pomocí takzvaných bodových dendrometrů. Na každém stanovišti byl nainstalován vždy jeden dendrometr, který se nachází na jednom z deseti vybraných stromů, viz obr. 5. Přičemž právě tento strom, který na sobě nese dendrometr se nachází zhruba uprostřed všech zkoumaných stromů. Samotné umístění dendrometrů bylo provedeno vždy na kmeny stromů ve výšce přibližně 1,3 m nad zemí.

Samotný dendrometr je vybavený odolným potenciometrem, který automaticky měří změny v poloměru kmene  $<1 \mu\text{m}$ . Přičemž tyto změny jsou zaznamenávány podle uživatelem nastaveného intervalu. Dále je dendrometr vybavený teplotním senzorem, pro zaznamenávání vzdušné teploty, jež se nachází na spodní části onoho dendrometru. Zároveň se tento bodový dendrometr vyznačuje robustní konstrukcí, která



*Obrázek 5: Bodový dendrometr umístěn na kmenu zkoumaného jedince jedle bělokoré.*

zajišťuje automatické měření i za velmi nepříznivých podmínek (Bodový dendrometr/TOMTS dostupné na <https://tomst.com/web/en/systems/tms/point-dendrometer/>, stav k 22.1. 2024). Získané hodnoty měření bodovým dendrometrem byly dále zpracovány v MS Excel a posléze v programu R-Studio.

### 3.4.2 Datalogger TMS-4

Měření teploty a půdní vlhkosti bylo zajištěno pomocí dataloggerů TMS-4 (standard), viz obr. 6. Tyto dataloggery byly stejně jako bodové dendrometry rozmístěny v rámci všech výzkumných lokalit. Nicméně dataloggery TMS-4 byly na každou výzkumnou lokalitu umístěny dvakrát, a to vždy jeden spíše na slunnější část dané výzkumné lokality a druhý na spíše stinnější část lokality.



*Obrázek 6: Datalogger TMS-4 umístěn na slunnější části dané výzkumné lokality.*

Stejně jako bodový dendrometr je datalogger TMS- 4 vybaven hned několika teplotními čidly a vlhkostním čidlem. Jeden z teploměrů (T1) se nachází společně s vlhkostním čidlem ve spodní části TMS-4, který se na obrázku 6 nachází již v půdě v hloubce zhruba 10 cm. Další teplotní čidla (T2 a T3) jsou již nad úrovní půdy a slouží pro zaznamenávání vzdušné teploty, stejně jako u bodového dendrometru. Konkrétně se teplotní čidlo T2 nachází na úrovni půdy a teplotní čidlo T3 se nachází zhruba 15 cm nad zemí. Rovněž je i tento datalogger velmi odolný vůči vnějším podmínkám a zajišťuje automatické měření teplot v rozmezí -40 až +60 °C s přesností  $\pm 0,5$  °C a také měření již zmiňované půdní vlhkosti (TMS-4/TOMST dostupné na <https://tomst.com/web/en/systems/tms/tms-4/>, stav k 22. 1. 2024). Získané hodnoty měření dataloggerem TMS-4 byly taktéž dále zpracovány v MS Excel a posléze v programu R-Studio, viz níže.

Pro stanovení objemové půdní vlhkosti musely být naměřené hodnoty elektrického signálu (dataloggerem TMS-4) před vynesemím do grafu zkalibrovány, a to podle typu půdy. Pro všechny výzkumné lokality byla uvažována stejná kalibrace, a to pro hlinitou půdu, jelikož nepředpokládáme velké rozdíly ve vlastnostech půdy mezi jednotlivými stanovišti. Námi naměřené elektrické signály byly tedy dosazeny do kvadratické rovnice (viz níže), jež slouží ke kalibraci již zmiňovaných hlinitých půd.

$$y = - 0,000000051x^2 + 0,000397984x - 0,291046437$$

Dosažením námi naměřených elektrických signálů za proměnnou  $x$  bylo dosaženo již požadovaných výsledků, které představují objemovou půdní vlhkost vyjádřenou po vynásobení stem v procentech. Kalibrace pro jednotlivé půdní typy spolu s odpovídající rovnicí jsou dostupné na <https://tomst.com/web/wp-content/uploads/Doc/Calibration-set-TMS3.pdf>, stav k 17. 4. 2023.

### **3.5 Měření fluorescenčního parametru fluometrem FluorPen**

Měření fluorescenčního parametru (QY<sub>max</sub>) – rychlé kinetiky fluorescence chlorofylu – bylo provedeno pomocí OJIP testu (Strasser et al., 2000) přímo v terénu ihned po odběru větví, viz obr. 7. K samotnému měření byl použit ruční přístroj FluorPen (FluorPen FP 100; PSI, Drásov, ČR) a kompatibilní plastové kolíčky od stejného výrobce.

Měřené čerstvé jehlice byly vždy po dobu 20 minut zatemněny právě v plastovém kolíčku, z důvodu přizpůsobení na temnostní podmínky před měřením rychlé kinetiky fluorescence chlorofylu. Takovéto měření proběhlo pro všechny odebrané větve reprezentativních jedinců jedle na všech výzkumných lokalitách.

Příčemž vždy z dané větve došlo k náhodnému výběru pěti jehlic, které byly měřeny. Výstupní data měření byla následně zpracována v MS Excel a posléze statisticky vyhodnocena a graficky znázorněna v programu NCSS.

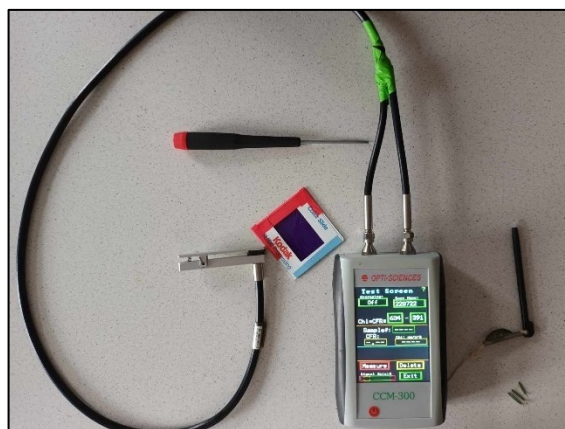


*Obrázek 7: Ruční fluometr FluorPen společně se zatemňovacími kolíčky na odebraných vzorcích jehlic.*

### 3.6 Měření obsahu chlorofylu pomocí fluorescenčního poměru CFR

Měření obsahu chlorofylu bylo provedeno mimo biochemických analýz i za pomoci nedestruktivní metody, a to za pomoci chlorofylmetru CCM-300 (CCM z angl. chlorophyll content meter neboli měřič obsahu chlorofylu). Tento přístroj se skládá ze dvou částí, kterými jsou – samotný měřicí přístroj a dva optické kabely, jejichž zakončení je vyvedeno v jedné „klipsně“, do které jsou vkládány samostatné sledované vzorky, viz obr. 8.

Pro měření chlorofylmetr využívá modré světlo o vlnové délce 460 nm a poloviční šířku pásma 15 nm. Měřeny jsou dva různé rozsahy vyvolaných emisních spekter, které se pohybují ve vlnových délkách 730 až 740 nm a 698 až 708 nm. Výstupní hodnotou tohoto měření je CFR (z angl. chlorophyll fluorescence ratio). Což je poměr fluorescence nebo fluorescenční emise při vlnových délkách 735 nm / 700 nm (Gitelson et al., 1999). Pro vztah obsahu chlorofylu a poměru CFR nebyl dosud publikovaný kalibrační vztah pro jehličnany na rozdíl od listnatých dřevin (Gitelson et al., 1999).



*Obrázek 8: Chlorofylmetr CCM-300 – připravený na měření obsahu chlorofylu jednotlivých vzorků jehlic mlazín jedle bělokoré.*

Samotné měření bylo provedeno vždy na třech čerstvých jehlicích daného vzorku, a to stejně jako u měření optických vlastností, tedy adaxiální stranou vzhůru k vyzařovanému světlu chlorofylmetrem. Tyto jehlice byly následně použity pro extrakci fotosyntetických pigmentů. Jednotlivá měření CFR (celkem provedeno třikrát na různých jehlicích) byla posléze zprůměrována a dále zpracována v MS Excel a také ve statistickém programu NCSS včetně vizualizace naměřených výsledků.

### **3.7 Biochemické analýzy**

Biochemických analýz bylo použito pro stanovení obsahu celkových chlorofylů a pro stanovení obsahu rozpustných fenolických látek. Obě tyto biochemické analýzy jsou podrobně popsány v podkapitolách níže 3.7.1 a 3.7.2. Výsledné hodnoty těchto parametrů získaných pomocí biochemických analýz byly následně zpracovávány v MS Excel a v statistickém programu NSCC, kde byla provedena mimo jiné i jejich vizualizace.

#### **3.7.1 Stanovení obsahu chlorofylů a celkových karotenoidů**

Stanovení celkového obsahu chlorofylu *a*, chlorofylu *b* a celkového obsahu karotenoidů bylo zjišťováno pomocí spektrofotometrie. Obsah těchto fotosyntetických pigmentů byl vždy vztažen na projekční plochu hmotnosti čerstvých jehlic ( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ). Z odebraných vzorků v rámci terénních výjezdů byly z nejmladších výhonů jedle náhodně vybrány tři jehlice, které byly následně nastříhány na kusy o velikosti cca 2 mm a byla zvážena jejich čerstvá hmotnost. Nastříhané vzorky byly dále vloženy do skleněných uzavíratelných flakónek s teflonovým těsněním, kam bylo posléze přidáno 5 ml dimethylformamidu (DMF) (výrobce:Lach-Ner). Takto připravené vzorky se dále nechaly extrahovat v temnu po dobu 7 dnů a při teplotě 5 °C (Porra et al., 1989).

Po uplynutí sedmi denní extrakce byly vzorky vizuálně zkontrolovány za účelem, zdali došlo k úplné extrakci pigmentů čili k dostatečnému odbarvení jehlic v rozpouštědle DMF. Poté byly vzorky aklimatizované na pokojovou teplotu s následným měřením. Toto měření bylo provedeno za pomoci spektrofotometru – Evolution 201 UV-VIS (ThermoFisher Scientific). Do spektrofotometru byly vzorky vnášeny v kyvetě z křemenného skla v celkovém objemu 2 ml extrahovaného vzorku. Referenční vzorek (blank) byl představován čistým rozpouštědlem DMF. U extrahovaných vzorků byla měřena absorbance ve vlnových délkách 750 nm, 664 nm,

647 nm a 480 nm. Kdy naměřené hodnoty absorpance extraktu ve vlnové délce 750 nm slouží jako „kontrolní body“ pro čistotu vzorku a z tohoto důvodu byly odečteny od hodnot absorpance ve zbývajících vlnových délkách. Jde o modifikovaný postup na základě metodiky Wellburna (1994). Pro výpočet obsahu fotosyntetických pigmentů, a to sice chlorofylu *a*, chlorofylu *b* a celkového obsahu karotenoidů byly použity rovnice, které jsou napsané v tabulce 2 (Wellburn, 1994). Přičemž námi naměřené hodnoty byly dosazovány za odpovídající proměnné ( $A_{664}$ ,  $A_{647}$  a  $A_{480}$ ).

**Tabulka 2:** Rovnice výpočtu koncentrace chlorofylů a karotenoidů. Upraveno dle Wellburna (1994).  $C_a$  – chlorofyl *a*;  $C_b$  – chlorofyl *b*;  $c_{(x+c)}$  – celková koncentrace karotenoidů a xantofylů;  $A_{664}$ ,  $A_{647}$  a  $A_{480}$  – absorpance vzorků v daných vlnových délkách korigovaná hodnotou absorpance v 750 nm.

$C_a = 11,65 * A_{664} - 2,69 * A_{647}$ (ug/ml)
$C_b = 20,81 * A_{647} - 4,53 * A_{664}$ (ug/ml)
$c_{(x+c)} = [(1000 * A_{480}) - 0,89] * [C_a - (52,02 * C_b)] / 245$ (ug/ml)

### 3.7.2 Stanovení obsahu rozpustných fenolických látek

Pro stanovení obsahu rozpustných fenolických látek došlo nejdříve k vyjádření ekvivalentu kyseliny gallové (Sánchez-Rangel et al., 2013). Na základě toho byla sestavena kalibrační křivka – koncentrační řada kyseliny gallové v 80 % methanolu v rozsahu 0–500 (mg/l) s náležitou lineární rovnicí (v našem případě:  $y = 0053x$ ). Tato rovnice byla dále využita pro výpočet obsahu rozpustných fenolických látek jednotlivých vzorků.

Obsah rozpustných fenolických látek byl stanoven ze vzorků jehlic, které měly průměrnou suchou hmotnost 0,07 g. Před samotnou biochemickou analýzou byly jehlice sušeny v sušárně – Memmert UF110, po dobu 72 hodin při teplotě 55 °C. Poté došlo k rozdrcení vysušených jehlic, pomocí vibračního mlýnu – Retsch MM301 a následně k samotné extrakci fenolických látek ze vzorků za použití 80 % methanolu p.a. ( $CH_3OH$ ) (výrobce: Lach-Ner).

Rozdrcené vzorky jehlic byly převedeny do 15 ml kónických centrifugačních zkumavek, kam byly následně přidány 4 ml 80 % methanolu. Takto připravená suspenze byla důkladně promíchána a posléze vložena do vodní lázně – Julabo EcoTemp TW 8, po dobu 30 minut při teplotě 55 °C. Po uplynutí této doby ve vodní lázni došlo k centrifugaci vzorků, v 15 ml



zkumavkách, při 5000 rpm po dobu 5 minut a při teplotě 24 °C. Vzniklé supernatanty jednotlivých vzorků byly převedeny do čistých 15 ml kónických centrifugačních zkumavek. U zbylých pelet byl proveden stejný postup ještě dvakrát ovšem nikoliv se 4 ml 80 % methanolu, ale s pouze se 3 ml 80 % methanolu. Po tří krokové extrakci rozpustných fenolických látek ze sušiny jemně drcených vzorků jehlic bylo získáno necelých 10 ml extraktu pro každý vzorek. Takto získané extrakty byly doplněny do celkových 10 ml, a to čistým 80 % methanolem. Po dokončení extrakce byly všechny získané vzorky uloženy v lednici při teplotě 5 °C po dobu minimálně 3 dnů, než mohlo dojít ke spektrofotometrickému stanovení.

Stanovení obsahu rozpustných fenolických látek bylo učiněno za pomoci spektrofotometru – Evolution 201 UV-VIS, ThermoFisher Scientific, podle Ainsworth a Gillespie (2007) a Spectranomics protocol: Total Phenol and Tannin determination (2011) dostupné na <https://zenodo.org>, stav k 13. 12. 2023. S následnými dalšími úpravami, které jsou popsány níže. Extrahované vzorky, podle postupu výše, byly zahřáté na pokojovou teplotu a posléze opět centrifugované při 5000 rpm po dobu 5 minut a při teplotě 24 °C. Následně došlo k samotnému stanovení pomocí spektrofotometrie podle následujícího postupu.

**Tabulka 3:** Přehled chemikálií s daným množstvím ve směsi (ml) pro stanovování relativního obsahu rozpustných fenolických látek ve vzorcích.

Kapalina	Název (vzorec)	Množství ml ve směsi
Kapalina A	destilovaná voda (H <sub>2</sub> O)	6 ml
Kapalina B	Folin & Ciocalteu phenol reagent (FCR)	0,5 ml
Kapalina C	extrahované vzorky v 80 % methanolu	0,5 ml
Kapalina D	10 % uhličitán vápenatý (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	3 ml

Do další sady čistých 15 ml kónických centrifugačních zkumavek bylo napipetováno celkem 6 ml destilované vody, 0,5 ml 2M Folin & Ciocalteu phenol reagent (výrobce: Sigma-Aldrich) a 0,5 ml extraktu vzorků získaného výše popsaným postupem. Tato směs byla důkladně promíchána pomocí Vortexu a následně ponechána 3 minuty v klidu. Po uplynutí dané doby byly do směsi přidány 3 ml 10 % uhličitánu vápenatého a opět došlo k promíchání, viz tab. 3. Následně byla směs ponechána v klidu po dobu 60 minut. Po této době směs dosáhla nejintenzivnějšího zbarvení, které bylo způsobené reakcí jednotlivých složek směsi. Následně

došlo k měření absorbancí u jednotlivých vzorků na spektrofotometru při vlnové délce 750 nm. Měření bylo prováděno obdobně jako u chlorofylů a celkových karotenoidů. Tudíž do spektrofotometru byly vnášeny vzorky v květech z křemenného skla. Referenční vzorek (blank) byl představován směsí kapaliny A, B, C a 0,5 ml destilované vody.

Z naměřených výsledných hodnot absorbancí byla vypočítána podle výše zmíněné rovnice (kalibrační křivka pro kyselinu gallovou) koncentrace rozpustných fenolických látek a stanovena jejich celková hmotnost pro jednotlivé vzorky. Obsah fenolických látek v jednotlivých vzorcích byl vztahován na suchou hmotnost vzorků a přepočten na projekční plochu jehlic ( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ).

### 3.8 Stanovení specifické listové hmotnosti (LMA) a obsahu vody v listech (EWT)

Z odebraných vzorků byla spočítána hodnota LMA neboli specifická hmotnost jehlic vztahovaných na projekční plochu jehlic. Pro výpočet těchto hodnot byl použit vzorec:

$$LMA = \frac{m_{\text{suchých jehlic}}}{\text{total area}} (g \cdot \text{cm}^{-2})$$

Kde  $m$  je hmotnost odebraných jehlic po vysušení a  $\text{total area}$  je celková plocha čerstvých naskenovaných jehlic

Mimo hodnot LMA byly počítány i hodnoty EWT neboli hmotnost vody na projekční plochu jehlic. K výpočtu těchto hodnot byl použit vzorec:

$$EWT = \frac{m_{\text{čerstvých jehlic}} - m_{\text{suchých jehlic}}}{\text{total area}} (g \cdot \text{cm}^{-2})$$

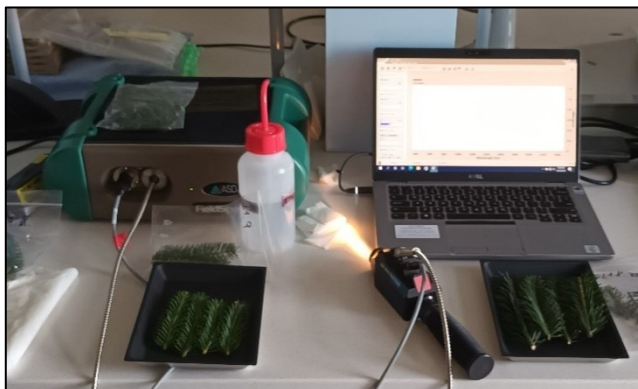
Podobně jako ve vzorci pro LMA, tak i ve vzorci pro výpočet EWT  $m$  vyjadřuje hmotnost odebraných jehlic, a to jak čerstvých, tak suchých.  $\text{Total area}$  je opět plocha těchto naskenovaných čerstvých jehlic.

Přičemž vzorky pro stanovení LMA i EWT činilo vždy 10 jehlic z každého stromu všech výzkumných lokalit a vyhodnocení skenovaných vzorků proběhlo v programu ImageJ na základě poměru segmentovaných pixelů z referenčního objektu a jehlic. Oba tyto parametry jsou uváděny v jednotkách gramů na centimetry čtvereční ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ), přičemž byly dále

zpracovávají v MS Excel a ve statistickém programu NSCC, kde byla provedena i jejich vizualizace.

### 3.9 Měření odrazivosti vzorků listoví

Měření odrazivosti vzorků listoví (optické vlastnosti) byly měřeny jakožto reflektance jednotlivých jehlic navzájem do sebe vložených. Toto měření bylo provedeno za pomoci spektrometru *ASD FieldSpec 4 Wide-Res* a kontaktní sondou – *ASD Plant Probe*, viz obr.9.



**Obrázek 9:** Spektrometr (*ASD FieldSpec 4 Wide-Res*) s kontaktní sondou (*ASD Plant Probe*) připravený na měření odrazivosti vzorků listoví jedle bělokoré navzájem do sebe vložených v černých miskách.

Tento spektrometr je schopen měřit v rozsahu vlnových délek 350–2500 nm s rozlišením 1 nm. Přičemž dochází

k měření reflektance plochy v zorném poli o průměru 10 mm. Naměřené odražené záření vzorků ve vlnových délkách 350–2500 nm bylo normalizováno k naměřenému odraženému záření od bílé reference (99 % spektralon – materiál téměř dokonale odrážející záření v rozsahu měřených vlnových délek) (Albrechtová et al., 2017).

Samotné měření bylo prováděno vždy na stejně starých odebraných výhonech, které byly srovnané, vložené do sebe – adaxiální stranou vzhůru – na černých miskách, které zajišťují minimální odrazivost pozadí, viz obr. 9. Na takto připravených výhonech proběhlo měření odrazivosti celkem na pěti různých místech pro každý studovaný vzorek. Výsledkem měření pomocí spektrometru byly křivky odrazivosti vzorků. Z pěti křivek měřených na různých pozicích vzorku posléze došlo k výpočtu mediánu naměřených hodnot a další analýzy proběhly na mediánu pro jednotlivé vzorky. Veškeré zpracování dat, získaných spektrometrem, bylo nejdříve provedeno v MS Excel a následně v programu R-Studio, ve kterém byla provedena i vizualizace naměřených hodnot. Mimo to byla pomocí R balíčku „*hsdar 1.0.4*.“ z mediánů křivek odrazivosti stanovena vlnová délka pozic inflexního bodu červeného okraje (REIP).

### 3.10 Použité statistické a grafické metody

Statistické hodnocení mnoha výsledků této práce bylo provedeno pomocí analýzy rozptylu jednoduchého třídění (ANOVA, 1 fixní faktor zastoupený 5 úrovněmi výzkumných lokalit s různým světleným mikroklimatem) a následných vícenásobných srovnávacích testů. Co se jednotlivých vícenásobných testů týká bylo jich uvažováno více. Pro hodnocení signifikantních rozdílů mezi jednotlivými výzkumnými lokalitami byl využit Tukey-Kramerův test, pokud byla splněna podmínka normálního rozdělení. Pokud tato podmínka splněna nebyla, byl využit neparametrický Kruskal-Wallisův test. Průkaznost rozdílu byla vždy hodnocena na hladině  $\alpha = 0,05$ . Takto provedená statistická hodnocení byla využita v rámci níže popsaných výsledků v kapitolách 4.2–4.7 a v kapitole 4.9. Současně byla vždy analýza rozptylu spolu s dalšími testy aplikována na jehlice různého stáří odděleně (tj. 1. a 2. ročník jehlic zvlášť). Veškerá tato již popsaná statistická hodnocení byla provedena ve statistickém programu NCSS, kde byly vytvořeny i veškeré krabicové grafy. U těchto krabicových grafů, představuje střední čára medián a krabice představují interval mezi hranicemi prvního a třetího kvartilu. Takzvané vousy (vertikální úsečky) potom představují maximální a minimální hodnoty a jednotlivé body (tečky) představují odlehlé hodnoty měření mimo interval maxima a minima. Maximum je hodnota představující + 1,5násobek IQR (z angl. Interquartile range neboli mezikvartilové rozpětí) a minimum potom – 1,5násobek IQR. K hodnocení rozdílů mezi jednotlivými ročníky (1. a 2. ročník) byl využíván buď Equal-Variance T-Test, pokud byly splněny podmínky normálního rozdělení a zároveň byl shodný rozptyl nebo Aspin-Welch Unequal-Variance T-Test, pokud byly splněny podmínky normálního rozdělení, ale byl neshodný rozptyl. Posledním používaným testem byl Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank-Sum Test for Difference in Location a to tehdy, kdy nebyla splněna podmínka normálního rozdělení.

Zbylé výsledky, které jsou popsány v kapitolách 4.1, 4.8 a i v kapitole 4.9 byly hodnoceny a vytvořeny v programovacím jazyku R a konkrétně v programu R-Studio. Pro zobrazení výsledků v kapitole 4.1 bylo nejprve provedeno zprůměrování denních hodnot (tj. jeden bod v grafu = 1 den) a následně byla na tyto data aplikovaná lokální polynomická regrese.

Co se výsledků popisovaných v kapitole 4.8 týká, tak pro jejich statistické hodnocení byla využita metoda hlavních komponent (PCA) z angl. Principal component analysis, kdy došlo ke škálování dat, tj. použití korelační matice pro výpočet hlavních komponent (PC1 a PC2).

V rámci práce v programu R-Studio byla použita funkce „prcomp()“, pro výpočet vlastních čísel a vektorů kovarianční matice biofyzikálních parametrů. Výsledek pro dvě největší vlastní čísla (ortogonální vektory zachycující největší proporci variability spektrálních dat, tj. ony hlavní komponenty PC1 a PC2), byl zanesen do souřadnicového systému pomocí knihoven „factoextra“, která zanesla tzv. loading faktory jako vektory vysvětlovacích proměnných. Analýza hlavních komponent byla použita i pro hodnocení rozdílů v odrazivosti vzorků listoví (kapitola 4.9). Nicméně u těchto naměřených hodnot nedošlo ke škálování dat, což znamená, že byla použita kovariační matice pro výpočet hlavních komponent, a to z toho důvodu, aby byla zachována variabilita jednotlivých spekter v jejich původní podobě. Důvodem škálování naměřených hodnot biofyzikálních parametrů vstupujících do vícerozměrných grafů je ten, že je zde různé měřítko jednotlivých sledovaných parametrů (Chl ( $a+b$ ), EWT, Fenoly, Kar, LMA a QYmax). Naopak hodnoty odrazivosti v jednotlivých vlnových délkách ve spektrální analýze jsou již škálovány při samotném měření a vyjádření reflektance vzhledem k bílému referenčnímu panelu.

U křivek spektrální odrazivosti listoví, rovněž viz kapitola 4.9 a 8 (přílohy 7–16), jsou v jednotlivých grafech zobrazeny průměry všech měření na dané výzkumné lokalitě pro jednotlivé vlnové délky. Kdy opět pro vytvoření grafů byla použita knihovna „graphics“ programovacího jazyka R v programu R-Studio.

Posledním programem, který byl rovněž využíván k statistickým hodnocením byl program Microsoft Excel, viz podkapitola 4.1.1, kapitoly 4.2, 4.3 a 8 (příloha 1–6 a 17–19).

## 4 Výsledky

V této kapitole jsou představeny veškeré naměřené výsledky související s problematikou: porovnání fyziologického stavu mlazin jedle bělokoré na stanovištích s rozdílným světelným mikroklimatem, viz tab. 4. Přičemž tyto výsledky byly získány pomocí biochemických a optických parametrů jehlic, a popis jednotlivých metod měření je blíže popsán v kapitole 3.

*Tabulka 4: Souhrnná tabulka výzkumných lokalit s různým typem obnovy a pravděpodobnou mírou stínění.*

Typ obnovy	Výzkumná lokalita	Pravděpodobná míra stínění
přirozená obnova	Holičky	střední míra stínění
clonná seč	Kocanda 2	nejvyšší míra stínění
skupinová seč	Kocanda 3	střední míra stínění
násečná seč	Kocanda 4	střední míra stínění
holá seč	Znětínek	nejnižší míra stínění

V rámci kapitol fluorescenční parametr – QY<sub>max</sub>, obsah chlorofylu (CFR), obsah chlorofylu a celkových karotenoidů, obsah rozpustných fenolických látek, specifická listová hmotnost (LMA) a obsah vody v listech (EWT), kapitoly 4.2–4.7 a mimo jiné i v kapitole 4.9 (hodnoty REIP) budou představeny nejprve výsledky z jarního odběru pro studované parametry a následně výsledky z letního odběru. Přičemž oba odběry, jarní i letní, byly provedeny v roce 2023. U jarního odběru jsou hodnoceny ročníky jehlic, které se vyvinuly v předchozí sezóně, v roce 2022 a u letního odběru jsou hodnoceny vždy dva ročníky jehlic, první a druhý ročník. Jehlice vyvinuté v předchozí sezóně (2022), stejně jako u jarního odběru, představují druhý ročník. Jehlice vyvinuté v roce 2023 představují první ročník. Pouze u fluorescenčního parametru z letního odběru dochází k hodnocení jen prvního ročníku jehlic. Statistické hodnocení pro všechny popisované výsledky je blíže popsáno v kapitole 3.10. Na základě statistického hodnocení byly mimo jiné sestaveny tabulky 6 až 15 s jednotlivými sledovanými biofyzikálními parametry a signifikancí rozdílu mezi prvními a druhými ročníky jehlic letního odběru pro každou lokalitu zvlášť. Signifikantní rozdíly na hladině  $\alpha = 0,05$  jsou označeny hvězdičkou (\*). Celková souhrnná tabulka všech sledovaných biofyzikálních parametrů se nachází v kapitole 8, příloha 1.

## 4.1 Interpretace mikroklimatických podmínek stanovišť

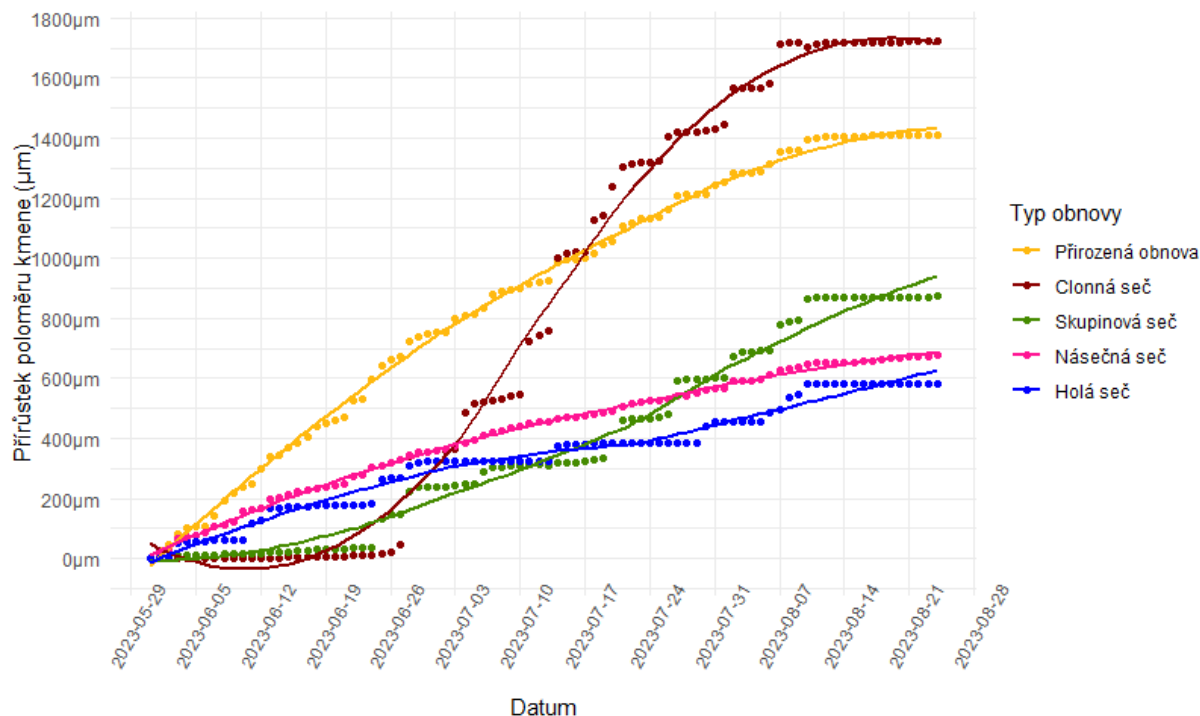
Co se mikroklimatických podmínek na výzkumných lokalitách týká, byly na všechny tyto lokality nainstalovány vždy celkem tři dataloggery dvojího typu. Prvním z nich je bodový dendrometr, který se nachází vždy právě jednou na každé výzkumné lokalitě. Tyto dataloggery jsou umístěny na reprezentativních jedincích mlazin jedle bělokoré ve výšce zhruba 130 cm nad zemí a slouží zejména k zaznamenávání přírůstů poloměrů kmenů a současně zaznamenávají i atmosférickou teplotu výzkumného stanoviště. Více o bodových dendrometrech je v podkapitole 3.4.1. Druhým typem dataloggeru jsou dataloggery TMS-4, které jsou již na jednotlivých výzkumných stanovištích zastoupeny dvakrát. Jeden tento datalogger se nachází spíše v slunnější části výzkumné lokality, značen vždy písmenem A a typem obnovy, na kterém se nachází (např. clonná seč A). Druhý datalogger stejného typu se nachází spíše na stinnější části, značen vždy písmenem B a stejně tak i typem obnovy, na které se nachází (např. holá seč B). O dataloggerech TMS-4 pojednává blíže podkapitola 3.4.2.

V rámci této kapitoly 4.1 budou představeny nejprve výsledky měření z bodových dendrometrů (podkapitola 4.1.1) a posléze budou představeny výsledky z dataloggerů TMS-4 (podkapitola 4.1.2).

### 4.1.1 Bodový dendrometr

Jak již bylo zmíněno v úvodním odstavci této kapitoly 4.1, bodové dendrometry zaznamenávaly poloměr přírůstu kmene stromů, a to vždy na každé výzkumné lokalitě u jednoho jedince mlaziny jedle bělokoré. Tyto naměřené hodnoty jsou vyneseny do grafu (obr. 10) kdy je nutné zmínit, že v grafu jsou vyneseny hodnoty měření od 29. května 2023 do 28. srpna 2023, a to z důvodu korekce naměřených dat a ustanovení stejného počátku pro všechna výzkumná stanoviště. Stejně tak je to provedeno i u všech zbylých měření provedených dataloggery (bodový dendrometr a datalogger TMS-4). Tento již zmiňovaný obrázek 10 nám říká, že největší hodnoty přírůstu kmene byly naměřeny na stromu nacházejícím se na clonné seči, kdy tento přírůst za zmiňované období činil až 1800  $\mu\text{m}$ . Druhý nejvyšší přírůst poloměru kmene byl zaznamenán na jedinci mlaziny jedle na lokalitě přirozené obnovy, který se pohyboval okolo 1400  $\mu\text{m}$ . Na zbylých lokalitách již k tak výrazným přírůstům poloměru kmenů nedocházelo a současně dynamika přírůstu byla podobná. Výsledné hodnoty se pohybovaly zhruba od 800 do 600  $\mu\text{m}$ . Přičemž přírůst pouhých 600  $\mu\text{m}$

patří mlazině jedle bělokoré, která se nachází na lokalitě holá seč. Výsledky jsou pouze orientační a nebylo možno provést statistické vyhodnocení, protože bodové dendrometry byly v omezeném množství zapůjčeny od konzultanta z VÚLHM.



**Obrázek 10:** Graf znázorňující přírůstek poloměru kmene ( $\mu\text{m}$ ) vždy na jednom jedinci na dané výzkumné lokalitě od 29. 5. do 28. 8. 2023. Body znázorňují denní průměry proložené křivkou lokální polynomičká regrese za účelem zobrazení.

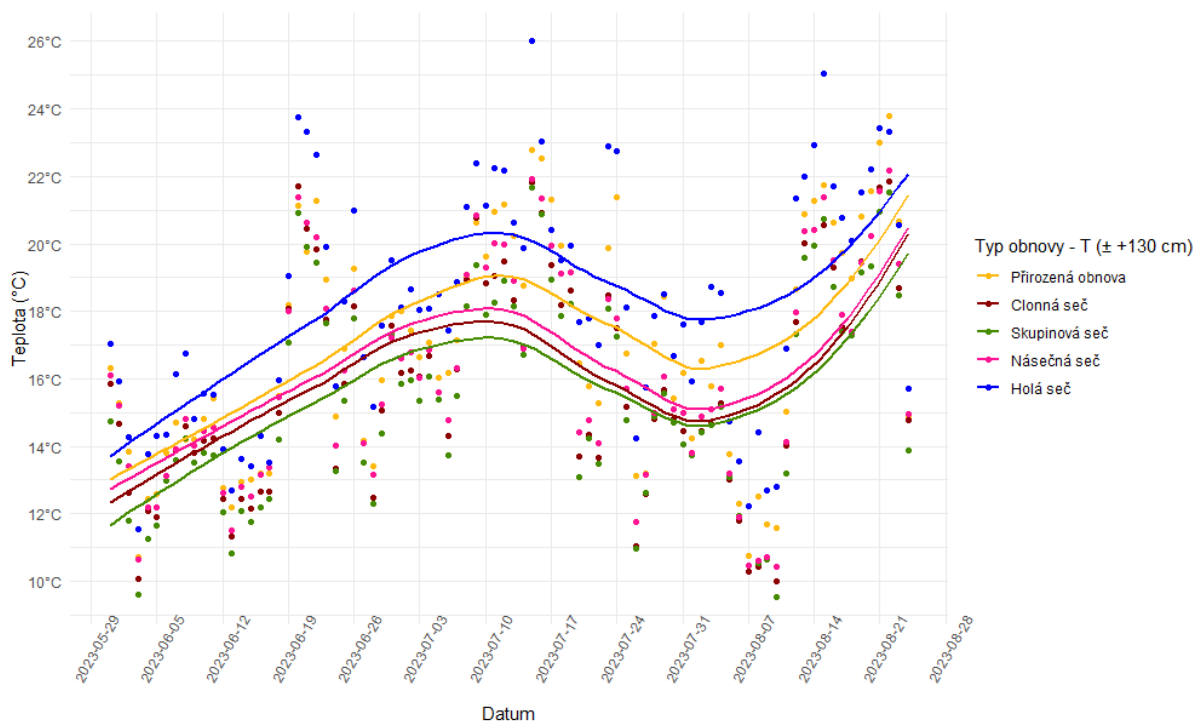
Kromě výše popsaných výsledků přírůstků kmenů stromů, vždy pouze jeden na dané ploše, došlo mimo jiné k změření obvodů kmenů, a to na všech vzorkovaných jedincích na daných výzkumných lokalitách. Tato zprůměrovaná měření jsou zaznamenána v tabulce 5 současně i s popisnými statistikami (maximální a minimální hodnota nebo směrodatná odchylka). Z této tabulky můžeme tedy vyčíst, že průměrné hodnoty průměru kmenů nejsou příliš odlišné. Nicméně stojí za zmínku, že v rámci měření obvodů kmenů, dosáhly stromy na holé seči nejvyšších hodnot a stromy na clonné seči naopak hodnot nejnižších, což je přesně opačný trend, jaký můžeme pozorovat na obrázku 10, který vyobrazuje přírůsty poloměru kmenů v průběhu vegetační sezóny 2023.



**Tabulka 5:** Souhrnná tabulka pro naměřené hodnoty průměrů kmenů všech zkoumaných stromů na daných lokalitách společně s následně vypočítanými hodnotami (medián průměrů, maximální hodnota průměru, minimální hodnota průměru a směrodatná odchylka). Všechna tato měření jsou uvedena v centimetrech (cm).

Lokalita	Obnova	Průměrná hodnota průměrů (cm)	Medián průměrů (cm)	Max. hodnota (cm)	Min. hodnota (cm)	Směrodatná odchylka (cm)
Holičky	přirozená obnova	7,7	7,6	10,3	5,8	1,24
Kocanda 2	clonná seč	6,6	6,7	8,4	4,4	1,26
Kocanda 3	skupinová seč	7,2	7,2	9,0	5,5	1,02
Kocanda 4	násečná seč	7,3	7,0	10,2	5,5	1,42
Znětínek	holá seč	8,6	8,6	11,5	5,7	1,57
Hodnoty všech 50. stromů		7,5	7,4	11,5	4,4	1,47

Posledními hodnotami, které byly naměřeny bodovými dendrometry jsou hodnoty atmosférické teploty, a to zhruba ve výšce 130 cm, což je výška, ve které byly vždy jednotlivé dendrometry na stromy umístěny. Takto naměřené hodnoty jsou vyneseny do grafu (obr. 11) kdy můžeme opět vidět relativně různou variabilitu mezi výzkumnými lokalitami, nicméně průběh teplot je na všech stanovištích podobný. Nejvyšších hodnot průměrné denní teploty bylo za sledované období (tj. 29. 5. až 28. 8. 2023) dosaženo na holé seči, což je lokalita, která v rámci této práce představuje pravděpodobně stanoviště s nejnižší mírou stínění. Teploty na této výzkumné lokalitě činily na začátku sledovaného období cca 14 °C a na konci sledovaného období 22 °C. Mimo to, je také možné pozorovat, že na této lokalitě byly naměřeny nejvyšší denní maxima v porostu. Což by pravděpodobně mohlo souviset s absencí transpiračního chlazení dospělého porostu. Další lokalitou, která dosahovala v průměru vyšších hodnot teplot, od 13 °C do necelých 22 °C je lokalita přirozené obnovy s pravděpodobnou střední mírou stínění. Zbylé výzkumné lokality již tak markantní rozdíly teplot nevykazovaly, nicméně nejnižší hodnoty teplot byly naměřeny na lokalitě skupinová seč, a to od 12 °C do 20 °C. Přičemž tato výzkumná lokalita rovněž v rámci této práce představuje pravděpodobnou střední míru stínění. Lokalita s pravděpodobnou nejvyšší mírou stínění, clonná seč, v tomto případě dosahuje až druhých nejnižších průměrných denních hodnot, které činily na začátku sledovaného období 12 °C a na konci sledovaného období 20,5 °C.



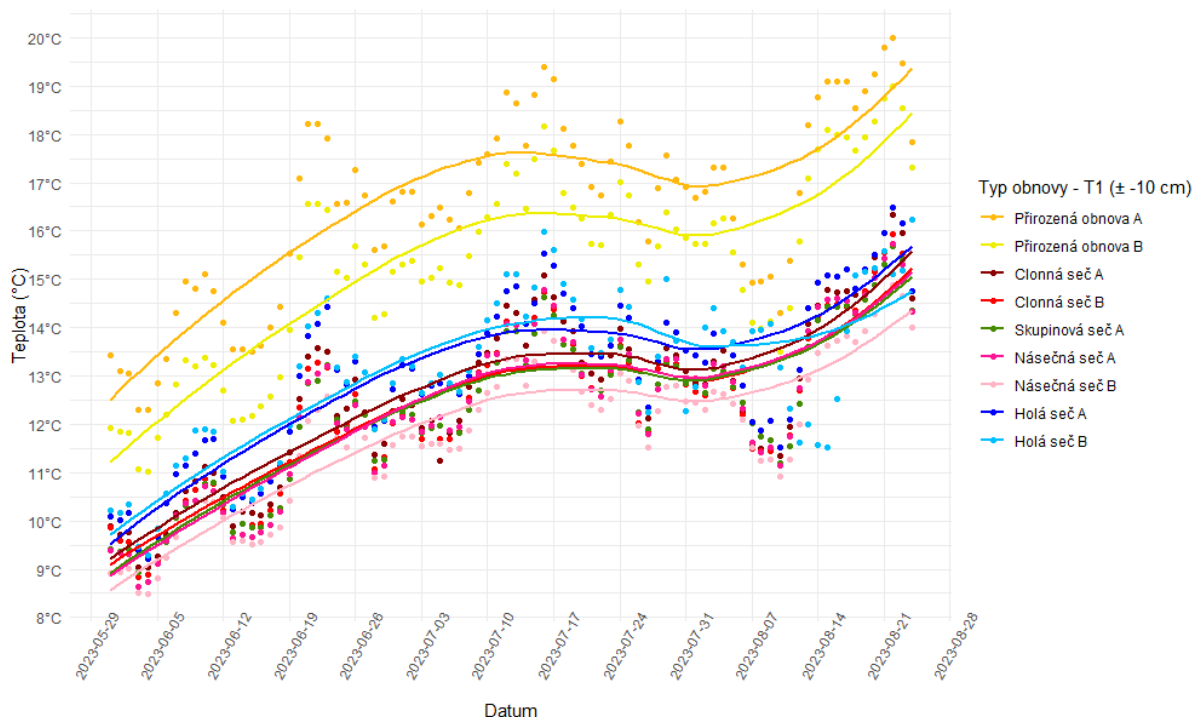
**Obrázek 11:** Graf znázorňující průměrné denní teploty (°C) pro teploměr dendrometru umístěn v  $\pm 130$  cm nad zemí ( $T (\pm 130$  cm)) na daných výzkumných lokalitách od 29. 5. do 28. 8. 2023. Body znázorňují denní průměry proložené křivkou lokální polynomičká regrese za účelem zobrazení.

#### 4.1.2 Datalogger TMS-4

Stejně jako bodové dendrometry, tak i datalogery TMS-4 jsou zmíněny v úvodním odstavci této kapitoly 4.1. Na rozdíl od bodových dendrometrů, které zaznamenávají atmosférickou teplotu a přírůsty poloměru kmenů, tak datalogery TMS-4 zaznamenávají teplotu na třech různých úrovních a půdní vlhkost. První z úrovní teploměr 1 (T1) je v půdě v hloubce zhruba 10 cm ( $T1 (\pm -10$  cm)). Další teploměr (T2) se nachází přímo na úrovni půdy, tj.  $T2 (\pm 0$  cm) a posledním teploměrem (T3) je teploměr, který je umístěny zhruba 15 cm nad povrchem půdy ( $T3 (\pm +15$  cm)). Vlhkostní čidlo těchto datalogerů se nachází přibližně 6 cm pod povrchem půdy ( $\pm - 6$  cm). Všechny tyto senzory pro zaznamenávání teplot v různých výškách a půdní vlhkosti jsou vždy součástí jedné půdní sondy datologgeru TMS-4, který je na obr. 6.

Jako první tedy představím výsledky z teploměrů a nejprve z teploměru 1 (viz obr. 12) kde si můžeme všimnout, že je zde hned devět křivek. V ideálním případě by jich zde bylo deset, podobně jako u T2, nicméně v průběhu zaznamenávání došlo k vyrýpnutí sondy (značená jako skupinová seč B) z půdy. Spočívala na povrchu půdy v horizontální poloze a pravděpodobně byla vyrýpnuta zvěří, tudíž teplotní hodnoty T1 a T3 nelze uvažovat. Devět potažmo deset křivek je zde tedy z toho důvodu, který byl již popsán v úvodu této kapitoly 4.1, a to sice, že na

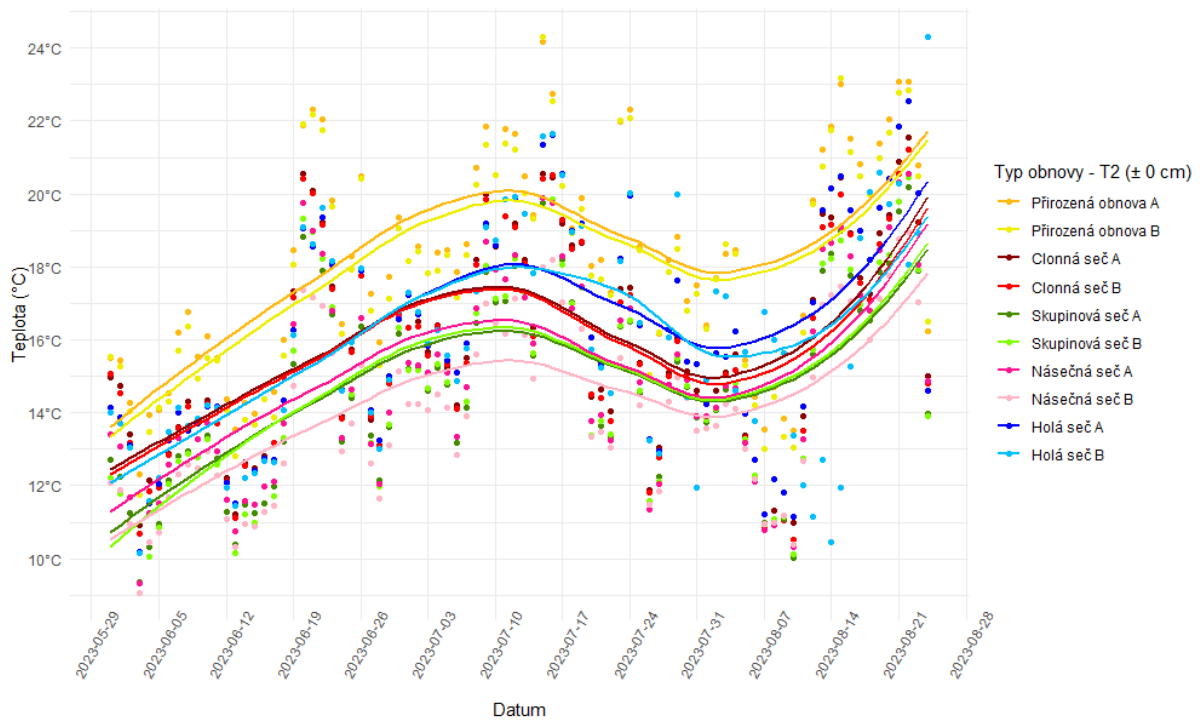
každé výzkumné lokalitě byly umístěny dva datalogery TMS- 4. Jeden z datalogerů byl umístěn v části stanoviště s pravděpodobně vyšším ozářením (značené jako A) a druhý z datalogerů byl umístěn v části stanoviště s pravděpodobně nižším ozářením (značené jako B). Současně je toto písemné rozdělení podpořeno i vizuálním rozdělením. Tmavší odstíny barev (A) předpokládána vyšší ozářenost a světlejší odstíny barev (B) předpokládána nižší ozářenost. Konkrétně tedy na obrázku 12 můžeme vidět, že nejvyšších průměrných teplotních hodnot v 10 cm pod povrchem půdy bylo dosaženo na lokalitě přirozené obnovy (odstíny žluté barvy). Konkrétně se tyto průměrné teplotní hodnoty pohybovaly okolo 12 °C dne 29. května 2023, kdy následně pozvolna stoupaly až k 19 °C ve dne 28. srpna 2023. Další lokalitou s nejvyššími hodnotami teplot v 10 cm pod povrchem půdy byla holá seč (odstíny modré barvy). Teploty (T1) na této lokalitě nabývaly hodnot od zhruba 10 do 15 °C. Datalogery ze zbylých lokalit již tak výrazné rozdíly nevykazovaly. Lokalita clonná seč (odstíny červené barvy) vykazovala teploty pohybující se od 9 °do 15 °C ve sledovaném období. Velmi podobně na tom teplotně byla i lokalita skupinová seč (odstíny zelené barvy), kde bylo možné uvažovat teploty pouze z jedné sondy TMS-4, a to kvůli již zmiňovanému problému se zvěří. Poslední z lokalit násečná seč (odstíny růžové barvy), naopak vykazovala jedny z nejnižších průměrných teplot a to 8,5 °C na začátku sledovaného období (29. 5. 2023) a necelých 14,5 °C na konci sledovaného období (28. 8. 2023).



**Obrázek 12:** Graf znázorňující teplotní hodnoty (°C) pro teploměr 1 (T1) dataloggeru TMS- 4 umístěn v  $\pm -10$  cm pod povrchem půdy (T1 ( $\pm -10$  cm)) na daných výzkumných lokalitách od 29. 5. do 28. 8. 2023. Odstíny stejných barev vyobrazují jednotlivé výzkumné lokality. Žluta barva – přirozená obnova; červená barva – clonná seč; zelená barva – skupinová seč; růžová barva – násečná seč a modrá barva – holá seč. Body znázorňují denní průměry proložené křivkou lokální polynomičká regrese za účelem zobrazení.

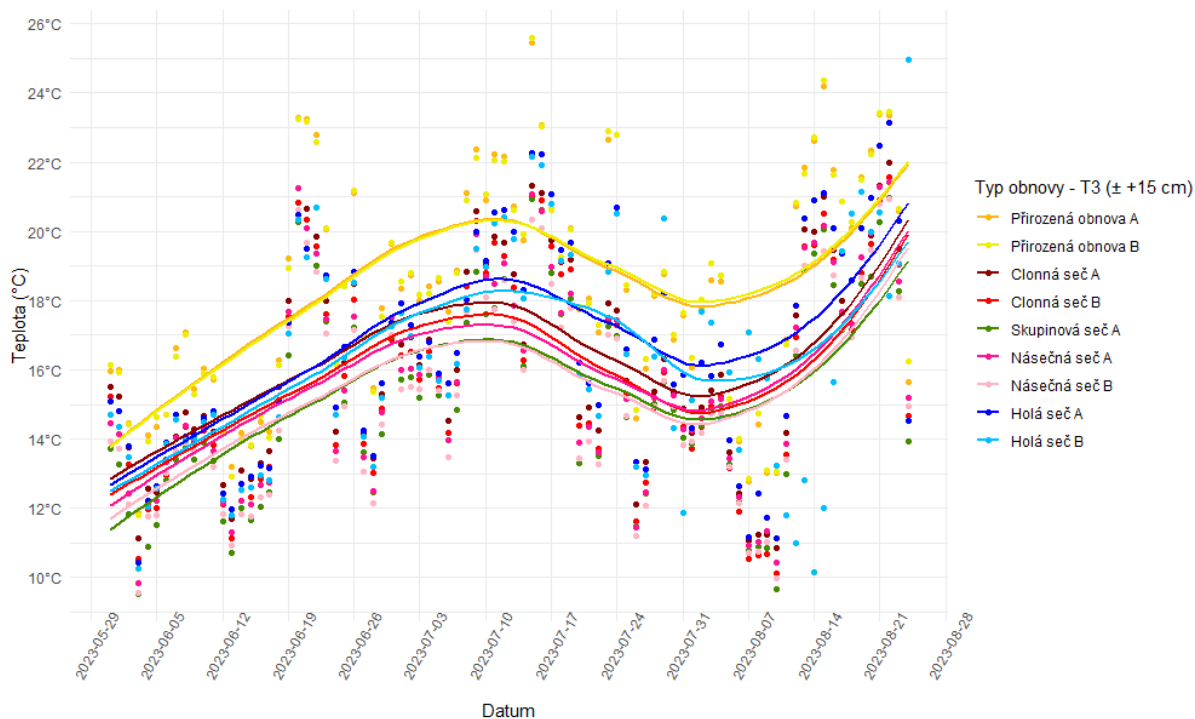
Jako další jsou zde výsledky z druhého teploměru (T2) dataloggeru TMS-4. Tento teploměr zaznamenával atmosférické teploty těsně u povrchu půdy, proto je zde také označován jako T2 ( $\pm 0$  cm). Současně i v návaznosti na komplikace s dataloggerem skupinová seč B, můžeme právě tuto teplotu při povrchu půdy nadále uvažovat, jelikož datalogger spočíval na povrchu půdy a tyto naměřené hodnoty nebyly nikterak znehodnoceny, jak již bylo popsáno výše. Na obrázku 13 můžeme tedy vidět, že atmosférická teplota, ve výšce okolo 0 cm nad zemí, dosahovala nejvyšších hodnot na stanovišti přirozené obnovy. Konkrétně bylo dosaženo průměrných teplot okolo 14 °C na začátku měření (29. 5. 2023) a 22 °C bylo dosaženo na konci měření (28. 8. 2023). Další lokality vykazují relativně podobné trendy jako je tomu u T1 ( $\pm -10$  cm). A to sice, že holá seč dosahuje druhých nejvyšších atmosférických teplot těsně u povrchu půdy. Tyto průměrné teploty se na holé seči pohybovaly v rozmezí od 12 do 20 °C opět ve sledovaném období. Atmosférická teplota na clonné seči se pohybovala v rozmezí teplot 12 až 19 °C a je tedy teplotně velmi podobná právě holé seči. Zbýlé lokality skupinová a násečná seč jsou si opět velmi podobné a to sice, že dosahovaly průměrných teplotních hodnot od 10,5 °C

do zhruba 17,5 °C. Mimo jiné lze na obrázku 13 vidět, že je to právě lokalita násečná seč konkrétně datalogger B, která dosahovala nejnižších teplot v rámci všech výzkumných lokalit.



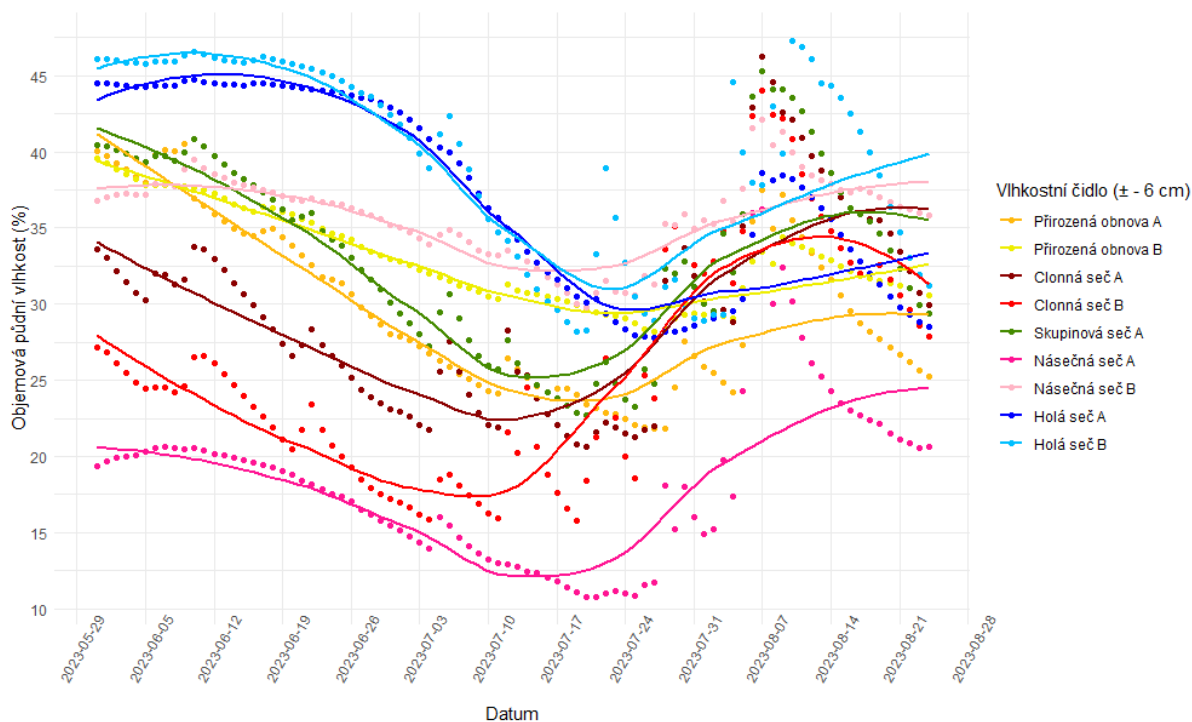
**Obrázek 13:** Graf znázorňující teplotní hodnoty (°C) pro teploměr 2 (T2) dataloggeru TMS- 4 umístěn v  $\pm 0$  cm u povrchu půdy ( $T2 (\pm 0 \text{ cm})$ ) na daných výzkumných lokalitách od 29. 5. do 28. 8. 2023. Odstíny stejných barev vyobrazují jednotlivé výzkumné lokality. Žluta barva – přirozená obnova; červená barva – clonná seč; zelená barva – skupinová seč; růžová barva – násečná seč a modrá barva – holá seč. Body znázorňují denní průměry proložené křivkou lokální polynomičká regrese za účelem zobrazení.

Posledními teplotními hodnotami jsou atmosférické teploty ve výšce okolo 15 cm od povrchu půdy,  $T3 (\pm +15 \text{ cm})$ . Tyto hodnoty jsou vyneseny do grafu na obrázku 14 a můžeme opět vidět velmi podobné teplotní trendy jako u předchozích dvou teploměrů T1 a T2. Nejvyšší průměrné teploty byly i v tomto případě naměřeny na přirozené obnově a pohybovaly se zhruba od 14 do 22 °C v námi sledovaném období. Následovala lokalita holá seč, která i zde vykazuje druhých nejvyšších teplotních podmínek ve výšce 15 cm nad povrchem půdy. Konkrétně byly naměřeny hodnoty, které se pohybovaly v intervalu okolo 13 do 21 °C. Zbylé lokality jsou i v tomto případě teplotně podobnější. Nicméně oproti teplotám naměřeným druhým teploměrem ( $T2 (\pm 0 \text{ cm})$ ) nejnižších naměřených teplotních hodnot dosahovala skupinová seč A, zejména na počátku a konci sledovaného období. Nicméně násečná seč B rovněž vykazuje podobně nízké teploty. Tyto naměřené teploty u skupinové seče dosáhly hodnot okolo 11 °C na začátku sledovaného období (29. 5. 2023) a na konci sledovaného období (28. 8. 2023) činily zhruba 19 °C.



**Obrázek 14:** Graf znázorňující teplotní hodnoty (°C) pro teploměr 3 (T3) dataloggeru TMS- 4 umístěn v  $\pm 15$  cm nad povrchem půdy (T3 ( $\pm 15$  cm)) na daných výzkumných lokalitách od 29. 5. do 28. 8. 2023. Odstíny stejných barev vyobrazují jednotlivé výzkumné lokality. Žluta barva – přirozená obnova; červená barva – clonná seč; zelená barva – skupinová seč; růžová barva – násečná seč a modrá barva – holá seč. Body znázorňují denní průměry proložené křivkou lokální polynomická regrese za účelem zobrazení.

Posledními naměřenými hodnotami dataloggeru TMS-4 jsou hodnoty půdních vlhkostí, které byly zaznamenávány stejnými sondami jako teploty v různých úrovních. Díky tomu byla získána data, která vyobrazují půdní vlhkost na daných výzkumných lokalitách v rozdílných částech. Graf znázorňující půdní vlhkost stanovišť je na obrázku 15. Opět je zde vidět pouze devět křivek, a to zde stejného důvodu, který je uveden výše, a to sice, že hodnoty naměřené sondou na skupinové seči (značená B), nelze uvažovat.



**Obrázek 15:** Graf znázorňující půdní vlhkost (%) naměřenou pomocí dataloggeru TMS- 4 umístěného v  $\pm 6$  cm pod povrchem půdy (Vlhkostní čidlo  $\pm 6$  cm)) na daných výzkumných lokalitách od 29. 5. do 28. 8. 2023. Odstíny stejných barev vyobrazují jednotlivé výzkumné lokality. Žluta barva – přirozená obnova; červená barva – clonná seč; zelená barva – skupinová seč; růžová barva – násečná seč a modrá barva – holá seč. Body znázorňují denní průměry proložené křivkou lokální polynomičká regrese za účelem zobrazení.

Co se tedy půdní vlhkosti na jednotlivých stanovištích týká, můžeme pozorovat (obr. 15), že nejvyšší naměřené hodnoty jsou zaznamenány na holé seči, což je lokalita představující nejnižší míru stínění. Konkrétně zde byly naměřeny hodnoty pohybující se okolo 45 % půdní vlhkosti na začátku sledovaného období (29. 5. 2023). Na konci sledovaného období (28. 8. 2023) již holá seč vykazovala vyšší variabilitu uvnitř stanoviště, a to sice, že sonda holá seč B zaznamenala 40 % objemové půdní vlhkosti a sonda holá seč A zaznamenala 32 % objemové půdní vlhkosti. Na lokalitě představované skupinovou sečí se naměřené hodnoty půdní vlhkosti pohybovaly okolo 42 % na začátku sledovaného období a okolo 35 % na konci tohoto období. Půdní vlhkosti na přirozené obnově na začátku sledovaného období nebyly příliš rozlišné. Objemová půdní vlhkost se zde pohybovala okolo 40 %. Na konci sledovaného období již k variabilitě půdní vlhkosti na této lokalitě docházelo. Přičemž datalogger přirozená obnova B zaznamenal přibližně 32 % půdní vlhkosti a datalogger přirozená obnova A 30 %. I na lokalitě clonná seč je dosaženo značné variability. Můžeme pozorovat, že na této lokalitě byly hodnoty půdní vlhkosti relativně stejné jen v období od 24. 7. do 7. 8. 2023. Přičemž na začátku sledovaného období sonda clonná seč A zaznamenala půdní vlhkost na hladině 34 % a sonda

clonná seč B 27 %. Na konci tohoto období byly zaznamenány hodnoty půdní vlhkosti na hladině 35 % (clonná seč A) a 30 % (clonná seč B). Poslední z lokalit násečná seč, vykazovala vůbec největší variabilitu v rámci stanoviště. Můžeme vidět, že datalogger násečná seč B naměřil hodnoty, které jsou na začátku sledovaného období podobné těm z přirozené obnovy a skupinové seče, a to 37 %, přičemž tato hodnota půdní vlhkosti byla naměřena i na konci sledovaného období. Poslední sonda násečná seč A naměřila vůbec nejnižší objemové půdní vlhkosti, a to 20 % na začátku a 25 % na konci sledovaného období.

## 4.2 Fluorescenční parametr – QYmax

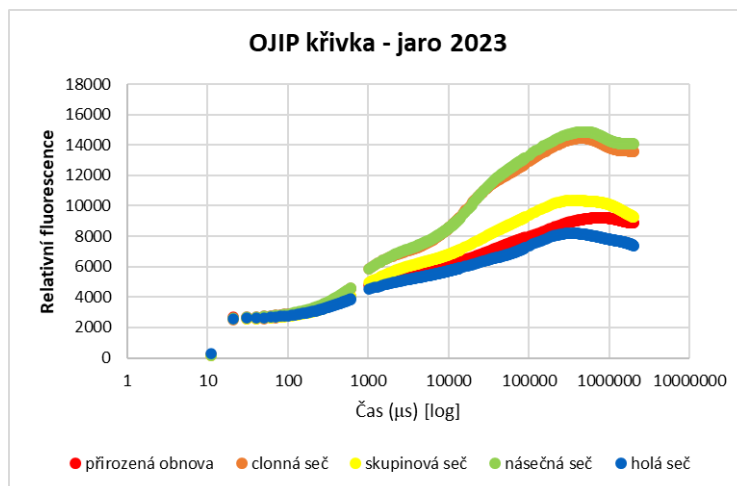
V této kapitole jsou představeny výsledky měření fluorescenčního parametru, který byl naměřen na druhých ročnících jehlic v rámci jarního odběru (jaro 2023) a na prvních ročnících jehlic v rámci letního odběru (léto 2023), kdy toto měření bylo provedeno pomocí FluorPenu. Konkrétně v této kapitole jsou nejprve představeny jednotlivé OJIP křivky (obr. 16 a 17) a následně naměřené hodnoty QYmax (obr. 18 a 19). Hodnotami, které vstupujícími do grafu OJIP křivek jsou –  $F_0$  (počátek fluorescence),  $F_m$  (maximální fluorescence),  $F_v$  (variabilní fluorescence) a s tím související hodnota QYmax (maximální kvantový výtěžek fotosystému II), viz podkapitola 2.2.1. Současně jsou všechny tyto vyjmenované hodnoty vypsány v jednotlivých tabulkách, kdy tyto tabulky jsou vytvořeny vždy pro každý odběr zvlášť – jaro a léto 2023 a nacházejí se v kapitole 8, příloha 2-6.

Nejprve tedy představím výsledky vyobrazující jednotlivé OJIP křivky pro každou lokalitu zvlášť. Na obrázcích 16 a 17, je vyobrazeno pět různých OJIP křivek, kdy každá z nich náleží právě jedné výzkumné lokalitě. V rámci odběru vzorků byla vždy rychlá kinetika fluorescence změřena na pěti různých jehlicích v rámci jednoho výhonu daného stromu na výzkumné lokalitě. Těchto pět měření bylo následně zprůměrováno pro každý strom na dané lokalitě zvlášť a poté došlo k opětovnému vytvoření průměrných hodnot stejně tak pro každou lokalitu zvlášť. Stejně tomu bylo i u číselných hodnot, které jsou zapsány v tabulkách (příloha 2–6), a které plní roli zejména v doplnění informací a také jako celkový souhrn jednotlivých parametrů na základě kterého byly OJIP křivky vytvořeny.

Na obr. 16 můžeme vidět, že jednotlivé OJIP křivky jsou v rámci výzkumných lokalit poměrně odlišné. Výzkumné lokality holá seč (modrá křivka), přirozená obnova (červená křivka) a skupinová seč (žlutá křivka) dosahují nejnižších hodnot relativní fluorescence, a to konkrétně

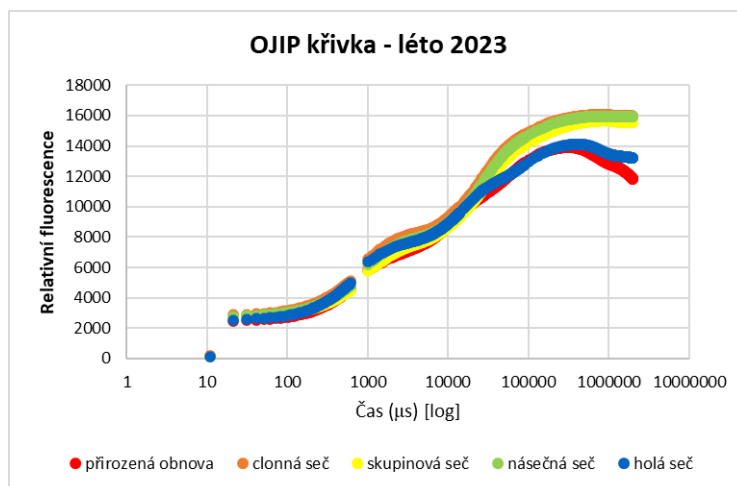


v rozmezí od 8 000 do 10 000 a současně s tím i nižších hodnot QYmax, viz též příloha 2-6. Oproti tomu lokality clonná seč (oranžová křivka) a násečná seč (zelená křivka) dosahují vyšších hodnot relativní fluorescence, a to hodnot pohybujících se okolo 14 000. Opět i v rámci těchto lokalit dochází k tomu, že hodnoty QYmax jsou znatelně vyšší.



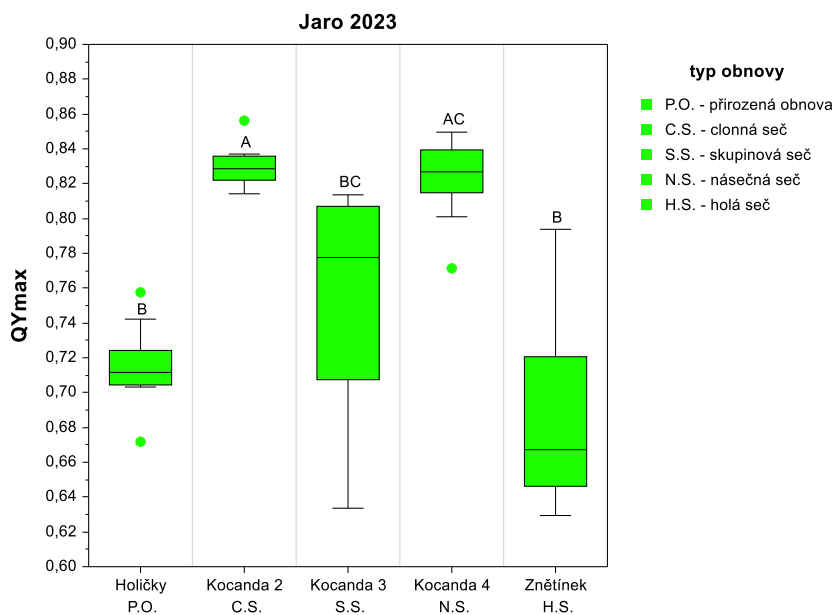
**Obrázek 16:** OJIP křivka pro jednotlivá výzkumná stanoviště z naměřených průměrných hodnot na jaře roku 2023. Červená křivka – přirozená obnova (Holičky), oranžová křivka – clonná seč (Kocanda 2), žlutá křivka – skupinová seč (Kocanda 3), zelená křivka – násečná seč (Kocanda 4) a modrá křivka – holá seč (Znětínek). Osa x představuje časovou škálu v mikrosekundách ( $\mu\text{s}$ ) v logaritmickém měřítku a osa y představuje relativní fluorescenci daných vzorků.

OJIP křivky na obr. 17 jsou méně odlišné, než jak je tomu u jarního odběru 2023. Můžeme vidět, že hodnoty relativní fluorescence se pohybují napříč všemi výzkumnými lokalitami v rozmezí hodnot od 12 000 do 16 000. I hodnoty QYmax dosahují na každé z lokalit vyšších hodnot. Nicméně lokality přirozená obnova a holá seč stále vykazují snížené hodnoty QYmax, opět viz příloha 2-6.



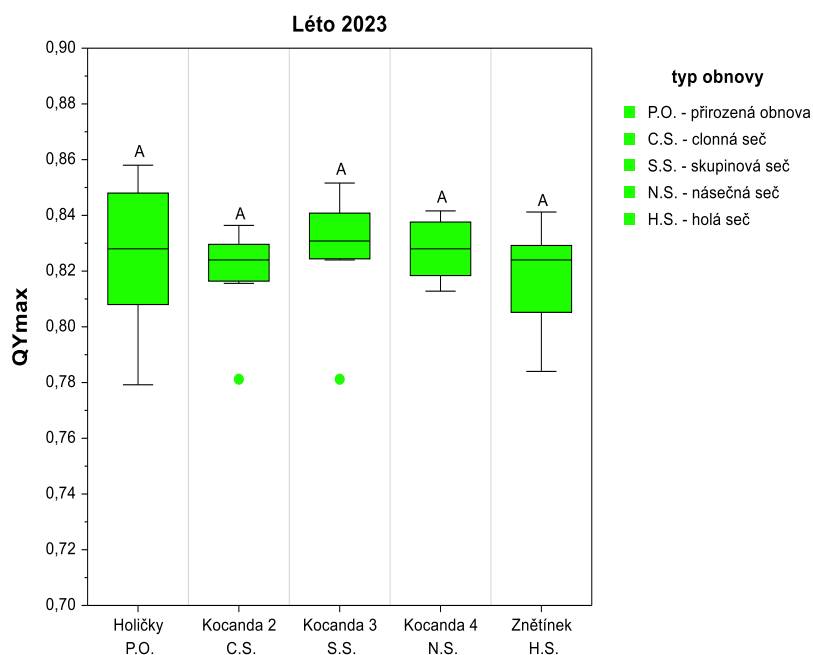
**Obrázek 17:** OJIP křivka pro jednotlivá výzkumná stanoviště z naměřených průměrných hodnot v létě roku 2023. Červená křivka – přirozená obnova (Holičky), oranžová křivka – clonná seč (Kocanda 2), žlutá křivka – skupinová seč (Kocanda 3), zelená křivka – násečná seč (Kocanda 4) a modrá křivka – holá seč (Znětínek). Osa x představuje časovou škálu v mikrosekundách ( $\mu\text{s}$ ) v logaritmickém měřítku a osa y představuje relativní fluorescenci daných vzorků.

Mimo OJIP křivky je změřený fluorescenční parametr  $QY_{\text{max}}$  zobrazen na obrázcích 18 a 19. Na prvním z obrázků (obr. 18) můžeme vidět, že hodnoty  $QY_{\text{max}}$  celkově dosahují velké variability v rámci všech lokalit. Nejvyšší variabilitu uvnitř stanoviště vykazuje násečná a holá seč. Kdy u lokality násečná seč můžeme pozorovat rozptyl hodnot od 0,64 do 0,82. U výzkumné lokality holá seč tento rozptyl hodnot  $QY_{\text{max}}$  nabývá hodnot pohybujících se od 0,62 do 0,80. Naopak nejvyšších hodnot celkem je dosaženo na lokalitách clonné a násečné seče. Obě tyto výzkumné lokality mají medián hodnot  $QY_{\text{max}}$  pohybující se kolem 0,83. Naopak nejnižší hodnoty  $QY_{\text{max}}$  jsou na lokalitách přirozené obnovy a holé seče. Kdy na přirozené obnově můžeme medián  $QY_{\text{max}}$  pozorovat kolem hodnot 0,71 a na holé seči tento medián činí hodnoty pohybující se kolem 0,66. V souvislosti s tímto můžeme tedy pozorovat, že výzkumné lokality přirozená obnova a holá seč mezi sebou nevykazují signifikantní rozdíly. Nicméně ony signifikantní rozdíly můžeme pozorovat právě mezi dvojicemi výzkumných lokalit, kdy se již zmiňované lokality (přirozená obnova a holá seč) průkazně odlišují od dvojic lokalit clonné a násečné seče. Zbylá lokalita představovaná skupinovou sečí se v tomto případě signifikantně liší pouze od clonné seče.



**Obrázek 18:** Maximální kvantový výtěžek PSII – QYmax jehlic na jaře roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA a Kruskal-Wallisův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny nad jednotlivými box ploty a jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

Naopak na obr. 19 lze vidět, že hodnoty QYmax se v průběhu sezóny ustanovují na určité hladině okolo hodnoty 0,83 a to napříč všemi výzkumnými lokalitami. Z našeho měření tedy vyplývá, že hodnoty QYmax naměřené v létě nejsou rozdílné pro žádnou z lokalit, tudíž ani jedna z výzkumných lokalit nevykazuje signifikantní rozdíl v obsahu QYmax.

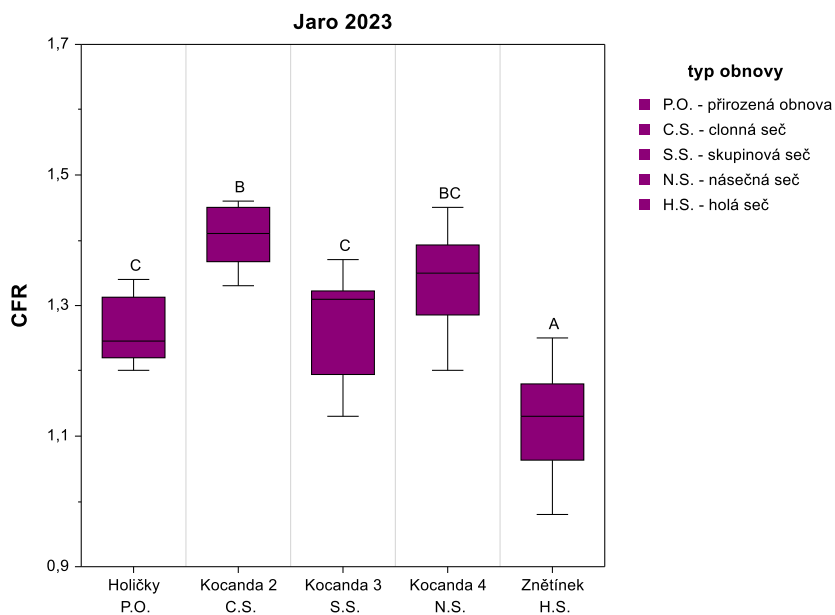


**Obrázek 19:** Maximální kvantový výtěžek PSII – QYmax jehlic v létě roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA a Kruskal-Wallisův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Absence signifikantních rozdílů je znázorněna shodnými písmeny nad jednotlivými box ploty a jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehle hodnoty měření.

### 4.3 Obsahu chlorofylu – CFR

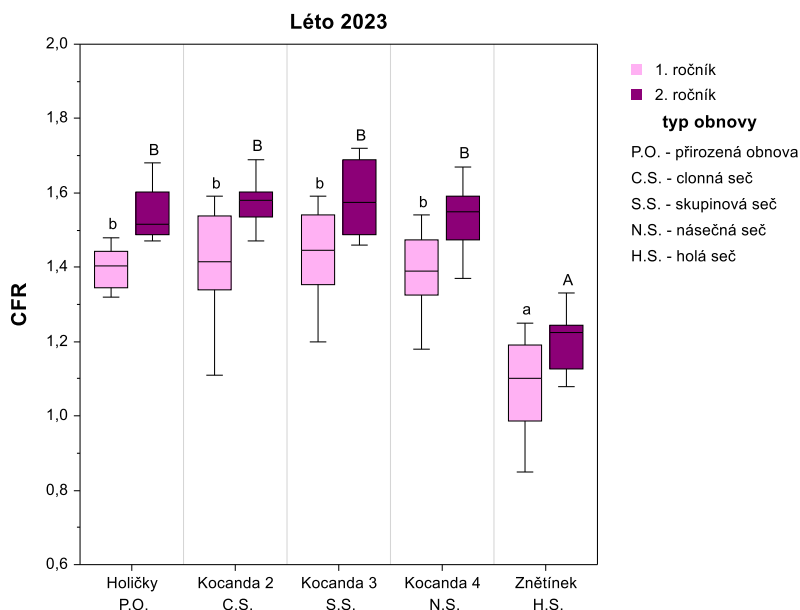
Výsledky měření obsahu chlorofylu, konkrétně hodnoty CFR z angl. chlorophyll fluorescence ratio neboli poměr fluorescence chlorofylu, jsou vyobrazeny na obrázcích 20 a 21.

Na prvním z nich (obr. 20) lze vidět, že hodnota CFR je průkazně nejnižší na lokalitě holá seč, která je představovaná nejmenší mírou stínění dospělým porostem. Medián CFR se na této lokalitě pohybuje okolo hodnoty 1,1. Současně je také výzkumná lokalita představována holou sečí signifikantně odlišná od všech zbylých lokalit, kde hodnoty CFR nabývají vyšších hodnot, než jak je tomu právě na holé seči. Hodnoty CFR na lokalitách přirozená obnova a skupinová seč jsou relativně stejné, tudíž srovnatelné a dosahují hodnot pohybujících se v rozmezí od 1,1 do 1,4. Kromě toho se průkazně neodlišují pouze od holé seče, nýbrž i od lokality clonné seče. Přičemž výzkumná lokality clonná seč nabývá nejvyšších hodnot CFR a to v průměru okolo 1,4. V neposlední řadě je zde lokalita násečná seč, která vykazuje signifikantní rozdíl pouze od již zmiňované holé seče.



**Obrázek 20:** Obsah poměru fluorescence chlorofylu – CFR odebraných jehlic na jaře roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikována jednocestná ANOVA a Tukey-Kramerův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny nad jednotlivými box ploty.

Výsledky z léta 2023, zobrazeny na obrázku 21, vykazují menší odlišnosti. V rámci tohoto odběru je zde opět signifikantní rozdíl u lokality holá seč, která nabývá nejnižších hodnot v poměru fluorescence chlorofylu, a to pro první i druhý ročník jehlic. U prvního ročníku jehlic byla průměrná hodnota CFR 1,1 a u druhého ročníku jehlic 1,2. Ostatní lokality jsou v tomto případě stejné, tudíž se od sebe nikterak průkazně neliší. To znamená, že medián hodnot CFR na všech zbylých lokalitách se pohybuje okolo hodnoty 1,4 pro jehlice prvního ročníku a okolo 1,5 pro jehlice druhého ročníku.



**Obrázek 21:** Obsah poměru fluorescence chlorofylu – CFR odebraných jehlic v létě roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikována jednocestná ANOVA (pro každý ročník zvlášť). Kruskal-Wallisův (pro 1. ročník) a Tukey-Kramerův test (pro 2. ročník jehlic). Rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny (1. ročník malá písmena; 2. ročník velká písmena) nad jednotlivými box ploty.

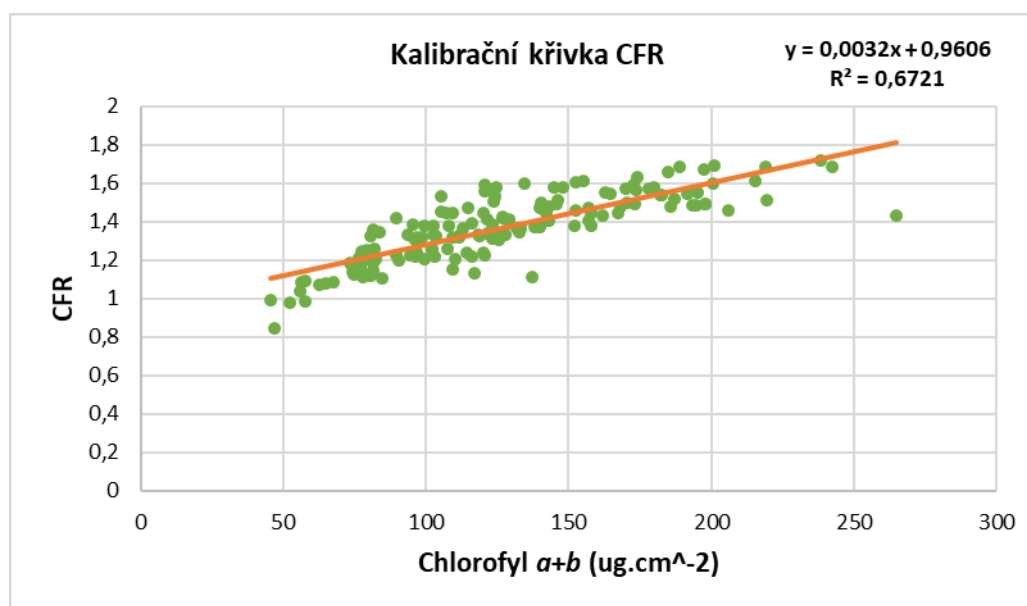
Kromě výše popisovaných statisticky testovaných rozdílů mezi jednotlivými lokalitami je také z obrázku 21 velmi patrné, že dochází k postupnému navyšování hodnoty CFR u druhého ročníku jehlic. Zvyšování hodnot CFR je signifikantní, a to u všech výzkumných lokalit, což ukazuje mimo jiné i tabulka 6, která je níže. Tento trend navyšování obsahu chlorofylu – CFR pravděpodobně souvisí se zvyšujícím se věkem jehlic a jejich postupnou adaptací na dané světelné podmínky v rámci všech výzkumných lokalit.

**Tabulka 6:** Tabulka signifikance obsahu chlorofylu – CFR u letního odběru jehlic roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a jednotlivé barvy v tabulce znázorňují jaký T-Test byl na základě statistického vyhodnocení použit. Zelená barva: Equal-Variance T-Test; oranžová barva: Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank-Sum Test for Difference in Location; žlutá barva: Aspin-Welch Unequal- Variance T- Test.

Signifikance (*)		Přirozená obnova	Clonná seč	Skupinová seč	Násečná seč	Holá seč
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	CFR	*0,00005	*0,00517	*0,020989	*0,00378	*0,03003

Z naměřených hodnot poměru fluorescence chlorofylu – CFR, byla mimo jiné vytvořena i kalibrační křivka, podle Gitelson et al. (1999). Tato kalibrační křivka znázorňuje závislost

poměru fluorescence chlorofylu při 735 nm a v rozsahu 700–710 nm neboli  $F_{735} / F_{700}$  na biochemicky stanoveném obsahu chlorofylu v jehlicích. Gitelson et al. (1999) publikoval vztah mezi  $F_{735} / F_{700}$  a laboratorně stanoveným obsahem chlorofylu na vzorcích ze třech různých druhů rostlin. Na buku lesním (*Fagus sylvatica* L.), jilmu habrolistém (*Ulmus minor* Mill.) a přísavníku trojcípem (*Parthenocissus tricuspidata* L.) se spolehlivostí větší než 0,95 ( $R^2 = 0,95$ ). Nicméně i přes vysoký koeficient determinace byl tento vztah definován pouze na listnatých druzích rostlin. Námi vytvořená kalibrační křivka (CFR) (viz obrázek 22) specifická konkrétně pro jedli bělokorou má koeficient determinace pohybující se kolem 0,67 ( $R^2 = 0,67$ ) a spojnice trendu je lineární s rovnicí  $y = 0,0032x + 0,9606$ . Nedospěli jsme tedy tak vysoké hodnotě spolehlivosti jako Gitelson et al. (1999), nicméně námi vytvořená kalibrační křivka může sloužit pro hrubý přepočítání hodnot CFR na obsah chlorofylu v jehlicích jedle bělokoré, a to rychle a nedestruktivní cestou.



**Obrázek 22:** Kalibrační křivka pro obsah poměru fluorescence chlorofylu – CFR pro jedli bělokorou. Na ose x jsou vyneseny naměřené hodnoty chlorofylu ( $a+b$ ) ( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) na ose y jsou vyneseny naměřené hodnoty CFR. Jednotlivými měřeními (zelenými body) je proložena lineární spojnice trendu (oranžová přímka) s rovnicí:  $y = 0,0032x + 0,9606$  a s hodnotou spolehlivosti R na druhou:  $R^2 = 0,6721$ .

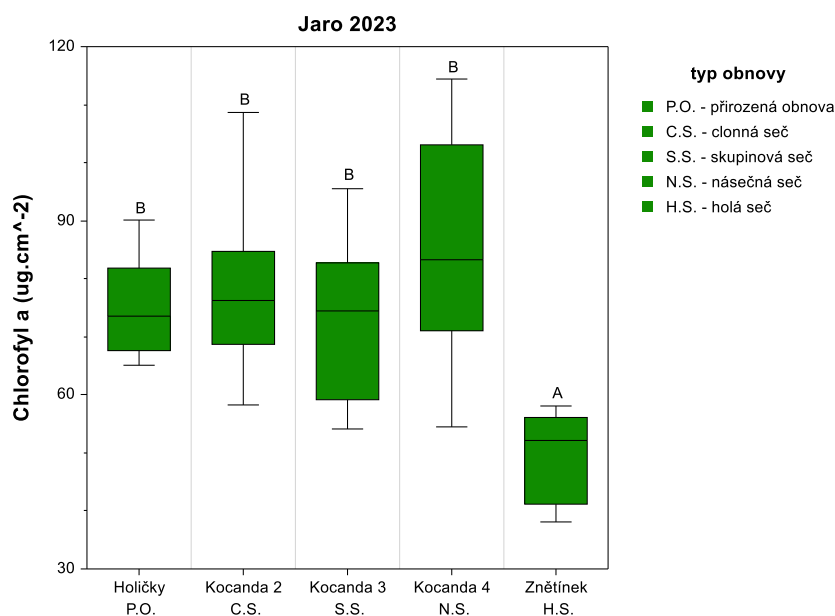
#### 4.4 Obsah chlorofylu a celkových karotenoidů

V rámci této práce, obsah chlorofylu a celkových karotenoidů charakterizoval fotosyntetické a ochranné pigmenty. Celkem bylo vybráno pět veličin a to: obsah chlorofylu  $a$ ; chlorofylu  $b$ ; celkový obsah chlorofylu Chl ( $a+b$ ); celkový obsah karotenoidů (karoteny + xantofyly) – přičemž všechny tyto veličiny byly vztahovány ku projekční ploše čerstvých jehlic. Poslední

zvolenou veličinou byl poměr obsahu celkových karotenoidů ku celkovému obsahu chlorofylu,  $Kar / Chl (a+b)$ .

#### 4.4.1 Obsah chlorofylu $a$

Celkový obsah chlorofylu  $a$  v jehlicích na jaře roku 2023 ukazuje obrázek 23. Na tomto obrázku je velmi dobře viditelné, že celkový obsah chlorofylu  $a$  je signifikantně nejnižší na lokalitě představové holou sečí, kde se obsah  $Chl a$  v jehlicích pohybuje okolo  $50 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Oproti tomu obsah chlorofylu  $a$  na ostatních lokalitách, jak s pravděpodobnou střední tak i vysokou mírou stínění, nevykazuje vzájemné signifikantní rozdíly a obsah  $Chl a$  je na všech těchto lokalitách velmi podobný a pohybuje se v rozmezí od 75 do  $80 \text{ ug.cm}^{-2}$ .

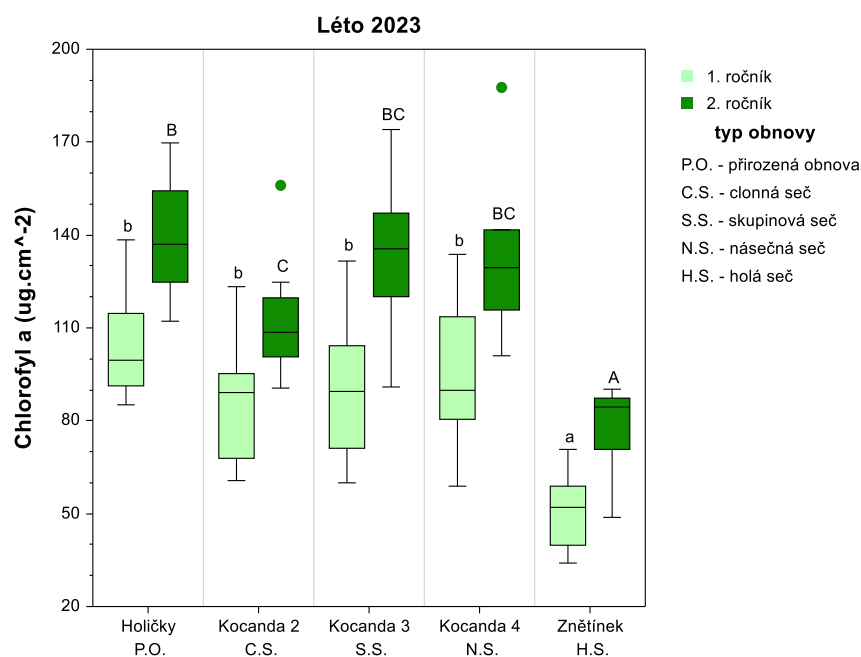


**Obrázek 23:** Celkový obsah chlorofylu  $a$  vztahovaný na plochu odebraných jehlic na jaře roku 2023. Na ose  $x$  jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA a Tukey-Kramerův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny nad jednotlivými box ploty.

Úplně stejného trendu si můžeme všimnout i v rámci obrázku 24 (léto 2023), a to u prvního ročníku jehlic. Lokalita holá seč dosahuje opět stejného obsahu  $Chl a$ , a to přibližně  $50 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Na zbylých lokalitách, které tedy mezi sebou nevykazují žádné průkazné odlišnosti, je obsah  $Chl a$  pozorován na hladině pohybující se od 90 do  $100 \text{ ug.cm}^{-2}$ . U druhého ročníku jehlic dochází již k větší variabilitě obsahu chlorofylu  $a$  mezi lokalitami. Nicméně i zde je opět signifikantně nejnižší obsah chlorofylu  $a$  na holé seči, okolo  $80 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Naopak signifikantně nejvyšší obsah chlorofylu  $a$  můžeme pozorovat na lokalitě přirozené obnovy, a to zhruba



140  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Lokalita clonné seče také vykazuje průkazné rozdíly, a to od holé seče i od přirozené obnovy. Obsah Chl  $a$  na této lokalitě se pohybuje okolo 110  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Obsah chlorofylu  $a$  v jehlicích stromů na lokalitách skupinové i násečné seče je relativně stejný, přibližně 130 až 135  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  a je tudíž srovnatelný s celkovým obsahem chlorofylu  $a$  na lokalitě přirozené obnovy i clonné seče.



**Obrázek 24:** Celkový obsah chlorofylu  $a$  na plochu odebraných jehlic v létě roku 2023. Na ose  $x$  jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA (pro každý ročník zvlášť) a Tukey-Kramerův test (pro 1. i 2. ročník jehlic). Rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny (1. ročník malá písmena; 2. ročník velká písmena) nad jednotlivými box ploty a jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

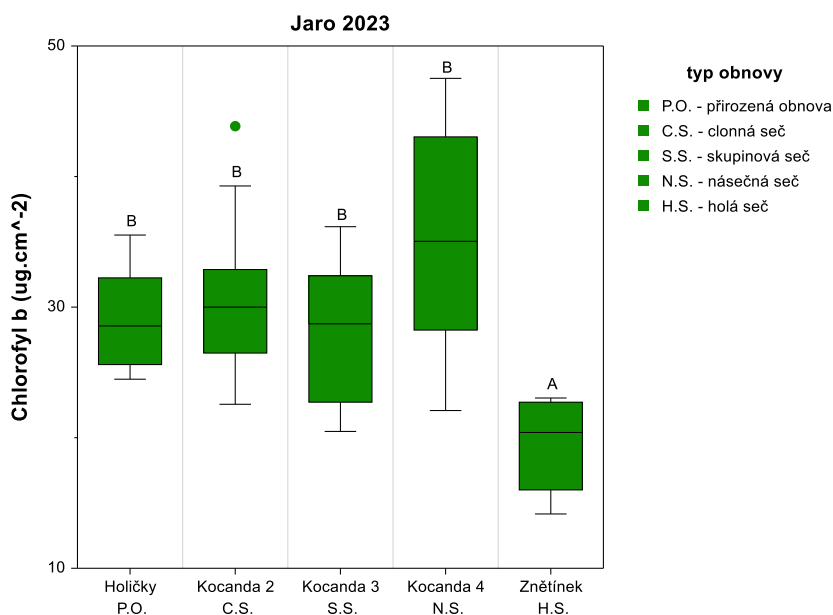
Kromě výše popisovaných statisticky testovaných rozdílů mezi jednotlivými lokalitami je také z obrázku 24 velmi dobře patrné, že dochází k postupné akumulaci chlorofylu  $a$ , a to napříč všemi lokalitami. Tento trend souvisí zejména se zvyšujícím se věkem jehlic a jejich postupnou adaptací na dané světelné podmínky v rámci všech výzkumných lokalit. Trend zvyšování chlorofylu  $a$  je rovněž podpořeno tabulkou 7, která ukazuje, že rozdíly mezi prvními a druhými ročníky jehlic jsou průkazné.

**Tabulka 7:** Tabulka signifikance obsahu chlorofylu *a* u letního odběru roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a jednotlivé barvy v tabulce znázorňují jaký T-Test byl na základě statistického vyhodnocení použit. Zelená barva: Equal-Variance T-Test; oranžová barva: Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank-Sum Test for Difference in Location.

Signifikance (*)		Přirozená obnova	Clonná seč	Skupinová seč	Násečná seč	Holá seč
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	Chl <i>a</i>	*0,00018	*0,003611	*0,00031	*0,00264	*0,002202

#### 4.4.2 Obsah chlorofylu *b*

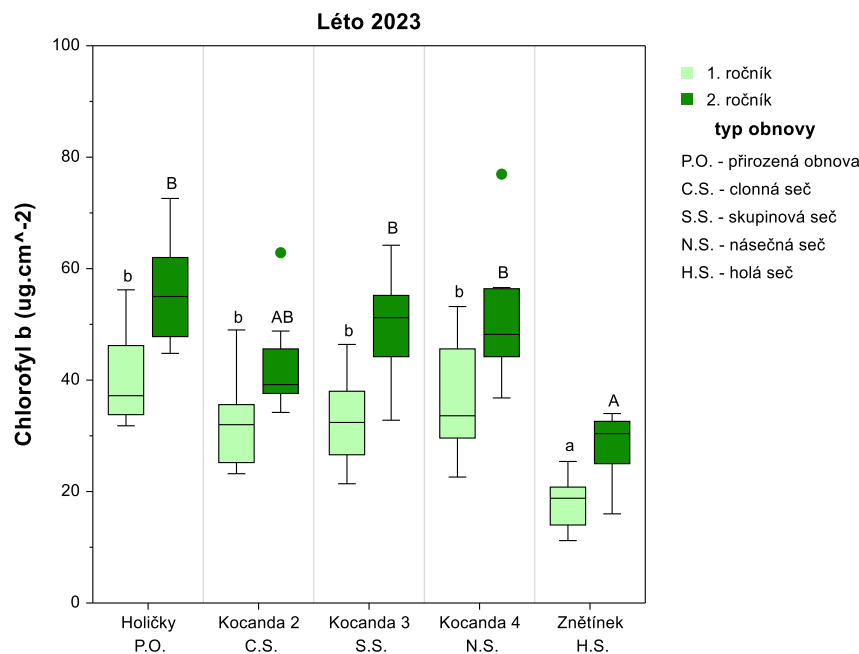
Celkový obsah chlorofylu *b* v jehlicích na jaře v roce 2023 je vyobrazen na obrázku 25. Na tomto obrázku lze vidět, že obsah chlorofylu *b* vykazuje stejné trendy jako obsah chlorofylu *a*, v rámci jarního odběru (obr. 23). A to sice, že obsah chlorofylu *b* je signifikantně nejnižší na lokalitě holá seč, 20  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Ostatní lokality umělé obnovy společně s lokalitou přirozené obnovy se mezi sebou prokazatelně neliší. Obsah Chl *b* na těchto lokalitách se pohybuje v rozmezí zhruba 27–35  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ .



**Obrázek 25:** Celkový obsah chlorofylu *b* vztahovaný na plochu odebraných jehlic na jaře roku 2023. Na ose *x* jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA a Tukey-Kramerův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny nad jednotlivými box ploty grafu a jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehle hodnoty měření.

Stejně je tomu i u jehlic prvního ročníku letního odběru (obrázek 26) kdy dochází ke stejným trendům jako v jehlicích jarního odběru. Ovšem s tím rozdílem, že jehlice prvního ročníku

jarního odběru obsahují více Chl *b* na všech výzkumných lokalitách vyjma holé seče, a to zhruba 32–37  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Nicméně u jehlic druhého ročníku letního odběru je situace již rozdílná. Signifikantně nejnižší obsah chlorofylu *b* je opět v jehlicích na lokalitě holá seč, 30  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Lokalita přirozené obnovy společně s lokalitami umělé obnovy, skupinové a násečné seče, vykazují průkazné rozdíly právě od lokality holé seče. Současně všechny tyto tři lokality představují stanoviště s pravděpodobnou střední mírou stínění a dosahují obsahu Chl *b* okolo 50  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Lokalita clonná seč se v tomto případě průkazně neliší od žádné zmiňované lokality (viz obr. 26), a tudíž je obsah chlorofylu *b* srovnatelný, jak s lokalitou přirozené obnovy, tak i s ostatními lokalitami umělé obnovy a činí zhruba 40  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ .



**Obrázek 26:** Celkový obsah chlorofylu *b* na plochu odebraných jehlic v létě roku 2023. Na ose *x* jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA (pro každý ročník zvlášť). Tukey-Kramerův (pro 1. ročník) a Kruskal-Wallisův test (pro 2. ročník jehlic). Rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky významné rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny (1. ročník malá písmena; 2. ročník velká písmena) nad jednotlivými box ploty a jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

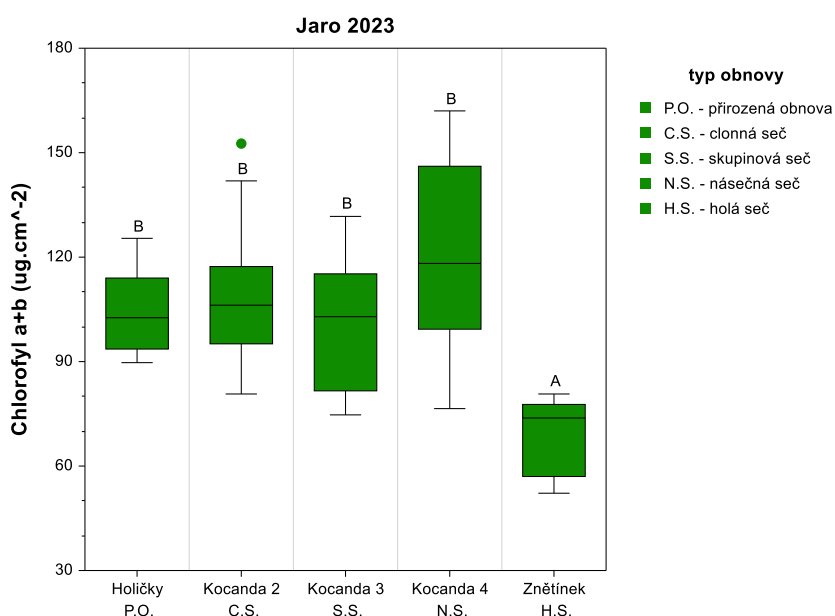
Kromě výše popisovaných statisticky testovaných rozdílů mezi jednotlivými lokalitami je také z obrázku 26 patrné, že dochází k postupné akumulaci chlorofylu *b*, a to napříč všemi lokalitami, stejně jako je tomu i u chlorofylu *a*. Tato skutečnost je patrná i z tabulky 8, jelikož dochází k průkazným rozdílům mezi jednotlivými ročníky jehlic. Stejně tak jako je tomu tedy i u celkového chlorofylu *a*, tak i zde tento trend souvisí se zvyšujícím se věkem jehlic a jejich postupnou adaptací na dané světelné podmínky stanoviště.

**Tabulka 8:** Tabulka signifikance obsahu chlorofylu b u letního odběru roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a jednotlivé barvy v tabulce znázorňují jaký T-Test byl na základě statistického vyhodnocení použit. Zelená barva: Equal-Variance T-Test; oranžová barva: Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank-Sum Test for Difference in Location.

Signifikance (*)		Přirozená obnova	Clonná seč	Skupinová seč	Násečná seč	Holá seč
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	Chl b	*0,00067	*0,004586	*0,00017	*0,007285	*0,001706

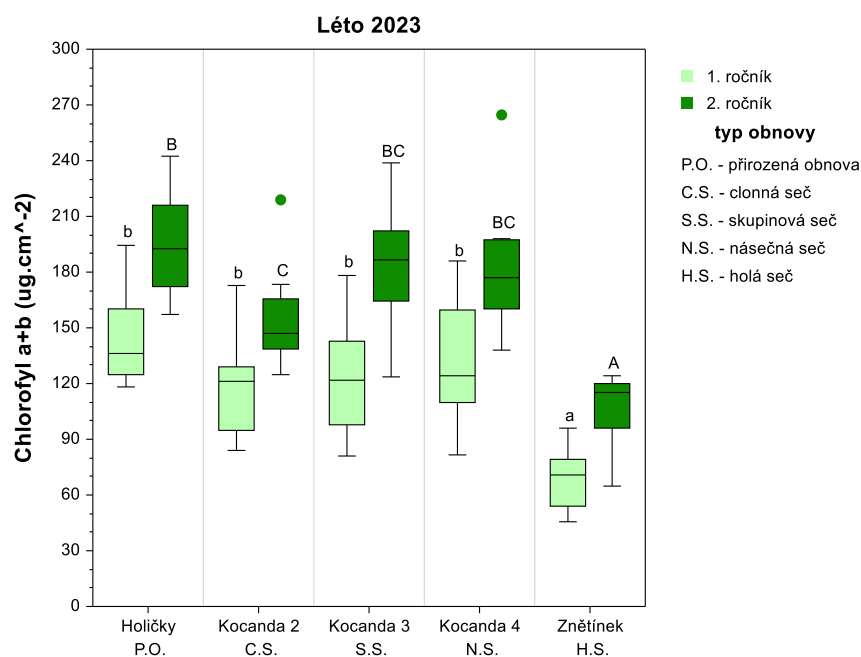
#### 4.4.3 Obsah celkového chlorofylu

Celkový obsah chlorofylu ( $a+b$ ) v jehlicích na jaře 2023 ukazuje obrázek 27, díky kterému lze vidět, že obsah celkového chlorofylu je signifikantně nejnižší na lokalitě představované holou sečí (Znětínek), stejně jako je tomu u obsahu chlorofylu  $a$  i obsahu chlorofylu  $b$ . Hodnota celkového chlorofylu na holé seči je přibližně  $72 \text{ ug.cm}^{-2}$ . V rámci designu této práce holá seč představuje nejnižší míru stínění dospělým porostem, tudíž jsou mlaziny jedle bělokoré vystavovány největší míře ozáření. Celkový obsah chlorofylu na zbylých lokalitách s pravděpodobnou střední a vysokou mírou stínění se průkazně neliší a pohybuje se v rozmezí hodnot od 105 do  $120 \text{ ug.cm}^{-2}$ .



**Obrázek 27:** Celkový obsah chlorofylu ( $a+b$ ) vztahovaný na plochu odebraných jehlic na jaře roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA a Tukey-Kramerův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny nad jednotlivými box ploty grafu a jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehle hodnoty měření.

Obdobný trend nižšího obsahu chlorofylu ( $a+b$ ) na holé seči můžeme pozorovat i v létě 2023 (obr. 28). A to jak u prvního, tak i druhého ročníku jehlic. U prvního ročníku jehlic byl naměřen celkový obsah chlorofylu přibližně  $70 \text{ ug.cm}^{-2}$  a u druhého ročníku přibližně  $120 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Současně můžeme pozorovat, že u jehlic druhého ročníku dochází již k větším odlišnostem mezi všemi výzkumnými lokalitami oproti prvnímu ročníku nebo jarnímu odběru. Stále se zachovává již zmiňovaný trend, a to sice, že celkový obsah chlorofylu je nejnižší na holé seči. Současně na rozdíl od situace na jaře (obr. 27), je signifikantně nejvyšší obsah celkového chlorofylu na lokalitě přirozené obnovy,  $190 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Celkový obsah chlorofylu v jehlicích na lokalitě clonné seče (předpokládáme nejvyšší míru stínění dospělým porostem) byl signifikantně odlišný, a to jak od holé seče, tak i od přirozené obnovy a činil zhruba  $150 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Celkový obsah chlorofylu v jehlicích stromů v rámci skupinové a násečné seče je relativně stejný, zhruba  $180\text{--}190 \text{ ug.cm}^{-2}$ , což znamená, že je srovnatelný s celkovým obsahem chlorofylu na lokalitě přirozené obnovy a clonné seče.



**Obrázek 28:** Celkový obsah chlorofylu ( $a+b$ ) na plochu odebraných jehlic v létě roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA (pro každý ročník zvlášť) a Tukey-Kramerův test (pro 1. i 2. ročník jehlic). Rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny (1. ročník malá písmena; 2. ročník velká písmena) nad jednotlivými box ploty. Jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

Mimo výše zmíněné statisticky testované rozdíly mezi lokalitami je také z obrázku 28 patrné, podobně jako u  $\text{Chl } a$  a  $\text{Chl } b$ , že dochází k postupné akumulaci celkového chlorofylu ( $\text{Chl } (a+b)$ )

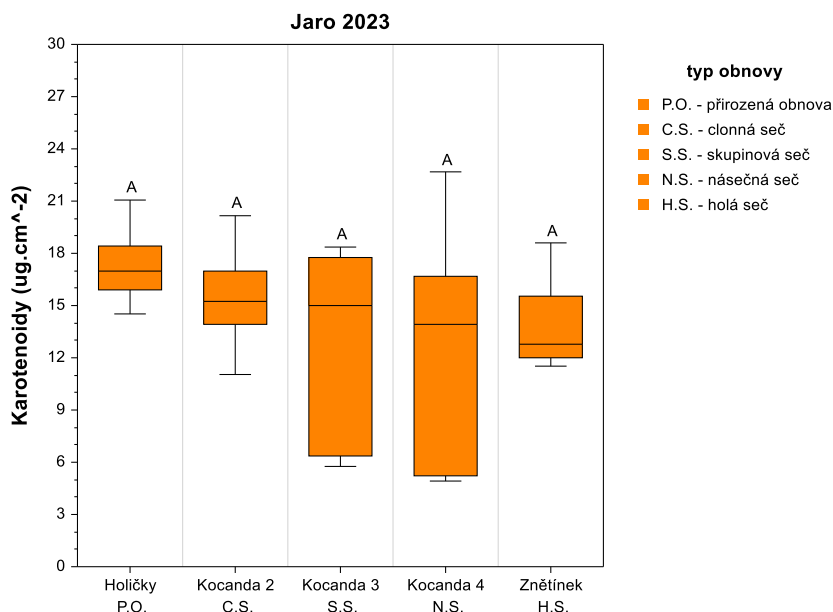
na všech výzkumných lokalitách, což je doloženo i tabulkou 9, díky které je zřejmé, že rozdíly mezi jehlicemi prvního i druhého ročníku jsou průkazné. Opět je tato skutečnost pravděpodobně způsobena vlivem zvyšujícího se věku jehlic, která je doprovázena i postupným přizpůsobením jednotlivých mlazin jedle bělokoré na dané mikroklimatické podmínky stanoviště.

**Tabulka 9:** Tabulka signifikance obsahu celkového chlorofylu (a+b) u letního odběru roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a jednotlivé barvy v tabulce znázorňují jaký T-Test byl na základě statistického vyhodnocení použit. Zelená barva: Equal-Variance T-Test; oranžová barva: Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank-Sum Test for Difference in Location.

Signifikance (*)		Přirozená obnova	Clonná seč	Skupinová seč	Násečná seč	Holá seč
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	Chl a + b	*0,00026	*0,003611	*0,00026	*0,007285	*0,001706

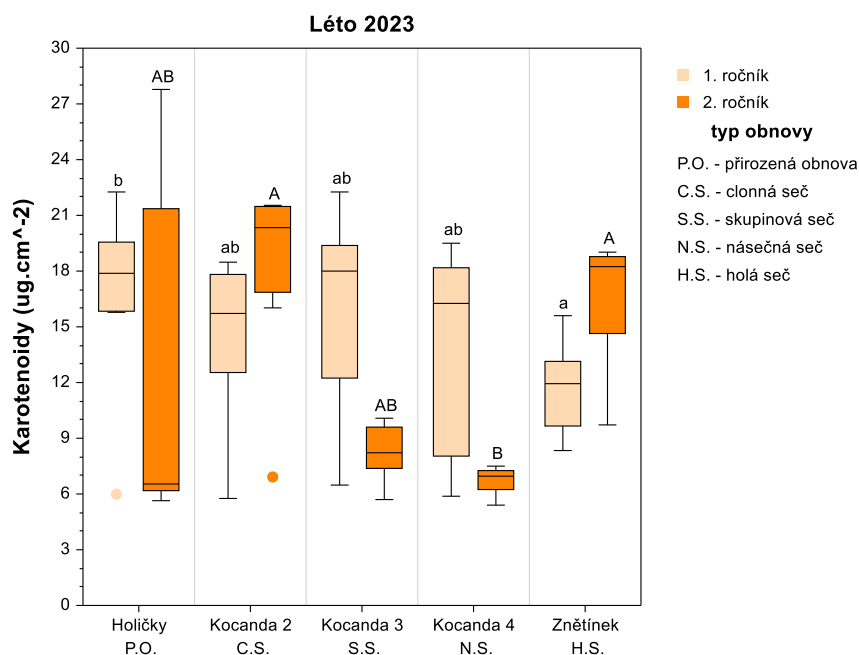
#### 4.4.4 Celkový obsah karotenoidů

Celkový obsah karotenoidů (karoteny + xantofyly) je pro jehlice odebrané na jaře roku 2023 vyobrazen na obrázku 29. Na tomto obrázku lze vidět, že celkový obsah karotenoidů (Kar) na všech výzkumných lokalitách se nikterak prokazatelně neliší, což znázorňují mimo jiné i shodná písmena nad jednotlivými krabicemi grafu. Obsah celkových karotenoidů napříč všemi výzkumnými lokalitami se pohybuje v rozmezí od 13 do 17  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Ovšem je zajímavé, že lokality představované skupinovou a násečnou sečí vykazují nejvyšší variabilitu uvnitř stanoviště. Přičemž u těchto lokalit předpokládáme střední míru stínění dospělým porostem a může zde docházet k tomu, že se stromům dostává různorodější ozáření.



**Obrázek 29:** Celkový obsah karotenoidů vztážený na plochu odebraných jehlic na jaře roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikována jednocestná ANOVA a Kruskal-Wallisův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Absence signifikantních rozdílů je znázorněna shodnými písmeny nad jednotlivými box ploty.

U jehlic odebraných v létě 2023 (obr. 30) k odlišnostem v obsahu celkových karotenoidů již dochází, a to u prvního i druhého ročníku. U prvního ročníku jehlic lokalita holé seče opět vykazuje signifikantně nejnižší obsah celkových karotenoidů, konkrétně  $12 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Naopak signifikantně nejvyšší obsah celkových karotenoidů můžeme pozorovat na lokalitě přirozené obnovy,  $18 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Zbývající lokality, a to jak lokalita s pravděpodobnou nejvyšší mírou stínění tak i zbylé lokality s pravděpodobnou střední mírou stínění mají relativně stejný obsah celkových karotenoidů, jak s lokalitou holá seč, tak i s lokalitou přirozené obnovy. To znamená, že se prokazatelně od těchto lokalit neliší. Obsah celkových karotenoidů na těchto lokalitách se pohybuje od 16 do  $18 \text{ ug.cm}^{-2}$ . U jehlic druhého ročníku je vzorec obsahu celkových karotenoidů zcela jiný, viz obr. 30. Průkazně nejnižší obsah karotenoidů je na lokalitě představované násečnou sečí (střední míra stínění), a to  $7 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Oproti tomu na lokalitách clonné i holé seče můžeme pozorovat nárůst obsahu celkových karotenoidů právě oproti násečné seči, a to na hodnoty pohybující se kolem  $20 \text{ ug.cm}^{-2}$  na clonné seči a  $18 \text{ ug.cm}^{-2}$  na holé seči. V neposlední řadě jsou zde ještě lokality přirozená obnova a skupinová seč, které se prokazatelně neliší od ostatních lokalit a dosahují hodnot v rozmezí 6 až  $8 \text{ ug.cm}^{-2}$ .



**Obrázek 30:** Celkový obsah karotenoidů vztážený na plochu odebraných jehlic v létě roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikována jednocestná ANOVA (pro každý ročník zvlášť) a Kruskal-Wallisův test (pro 1. i 2. ročník jehlic). Rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny (1. ročník malá písmena; 2. ročník velká písmena) nad jednotlivými box ploty. Jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

Mimo výše zmíněné statisticky testované rozdíly mezi lokalitami můžeme na obrázku 30 pozorovat rozdíly v akumulaci celkových karotenoidů v rámci lokalit, a to opět v souvislosti se zvyšujícím se věkem jehlic a s postupnou adaptací na dané světelné podmínky. Na lokalitách přirozené obnovy, skupinové a násečné seče, lze pozorovat vyšší obsah celkových karotenoidů u prvního ročníku jehlic oproti jehlicím starším. Naopak na lokalitách clonné a holé seče, lze pozorovat vyšší obsah celkový karotenoidů u druhého ročníku jehlic. Nicméně i když se zdá podle obr. 30, že lokalita přirozené obnovy vykazuje signifikantní rozdíly mezi jednotlivými ročníky jehlic, není tomu tak, což dokazuje souhrnná tabulka 10. Ovšem všechny zbylé lokality, již signifikantní rozdíly mezi ročníky vykazují.

**Tabulka 10:** Tabulka signifikance obsahu celkových karotenoidů u letního odběru roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a barva v tabulce znázorňuje jaký T-Test byl na

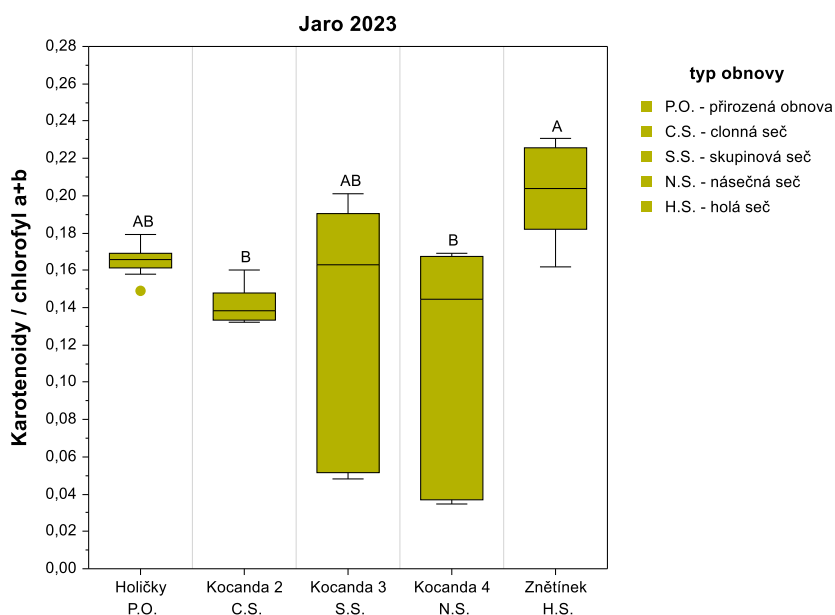


základě statistického vyhodnocení použit. Oranžová barva: Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank-Sum Test for Difference in Location.

Signifikance (*)		Přirozená obnova	Clonná seč	Skupinová seč	Násečná seč	Holá seč
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	Kar	0,391267	*0,014019	*0,025748	*0,007285	*0,003611

#### 4.4.5 Poměr obsahu celkových karotenoidů ku celkovému obsahu chlorofylu

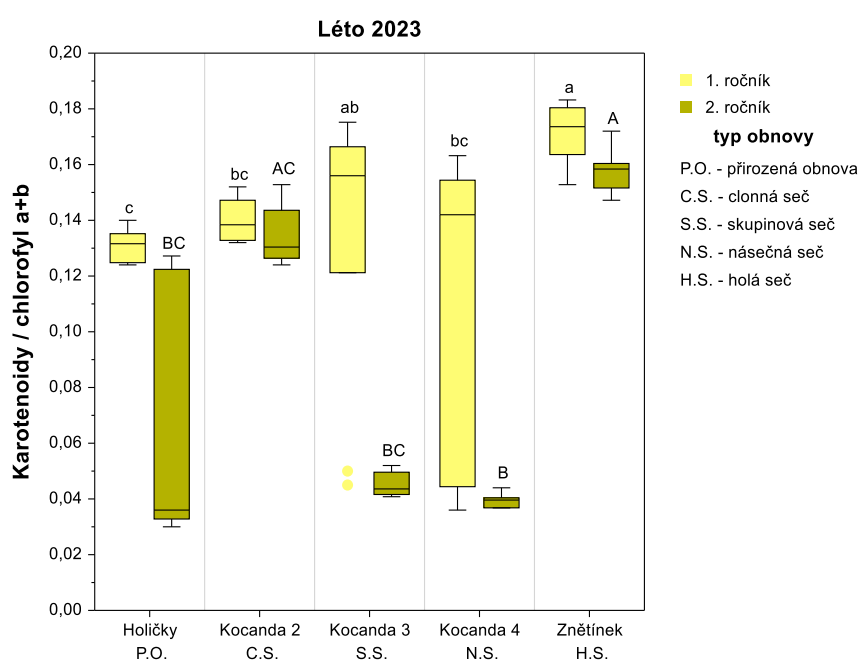
Na obrázcích 31 a 32, je vyobrazen a vyjádřen celkový obsah karotenoidů (karoteny + xantofyly) (Kar) ku celkovému obsahu chlorofylu Chl ( $a+b$ ), zkráceně Kar/Chl ( $a+b$ ). Konkrétně na obrázku 31 je vyobrazen jarní odběr, kde můžeme vidět, že lokalita holé seče vykazuje signifikantně nejvyšší poměr Kar/Chl ( $a+b$ ). Současně se právě od lokality holé seče signifikantně liší lokality clonné a násečné seče. Zbylé lokality, přirozená obnova a skupinová seč se v obsahu celkových karotenoidů ku obsahu celkového chlorofylu nikterak signifikantně neliší od ostatních výzkumných lokalit.



**Obrázek 31:** Celkový obsah karotenoidů ku celkovému obsahu chlorofylu na jaře roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA a Kruskal-Wallisův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny nad jednotlivými box ploty grafu. Jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehle hodnoty měření.

Stejně tak je z obrázku 32 zřetelně viditelné, že i zde lokalita holé seče vykazuje signifikantně nejvyšší poměr Kar/Chl ( $a+b$ ), a to jak pro první, tak i pro druhý ročník jehlic. Dále v rámci

prvního ročníku jehlic můžeme pozorovat, že lokalita přirozené obnovy se signifikantně liší, právě od lokality holé seče. Současně se od lokality holé seče liší i lokality clonné a násečné seče. Nicméně právě tyto dvě lokality se neliší od přirozené obnovy. Poslední lokalitou je skupinová seč, která se liší pouze od lokality přirozené obnovy. U jehlic druhého ročníku dochází již k zmiňovanému signifikantnímu rozdílu u holé seče. Současně dochází i k signifikantnímu rozdílu u lokality násečné seče, kde je naopak viditelně nejmenší poměr Kar/Chl ( $a+b$ ). Lokality přirozené obnovy a skupinové seče se liší pouze od lokality holé seče, a naopak lokalita představovaná clonnou sečí se liší pouze od násečné seče.



**Obrázek 32:** Celkový obsah karotenoidů ku celkovému obsahu chlorofylu v létě roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA (pro každý ročník zvlášť) a Kruskal-Wallisův test (pro 1. i 2. ročník jehlic). Rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny (1. ročník malá písmena; 2. ročník velká písmena) nad jednotlivými box ploty grafu. Jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

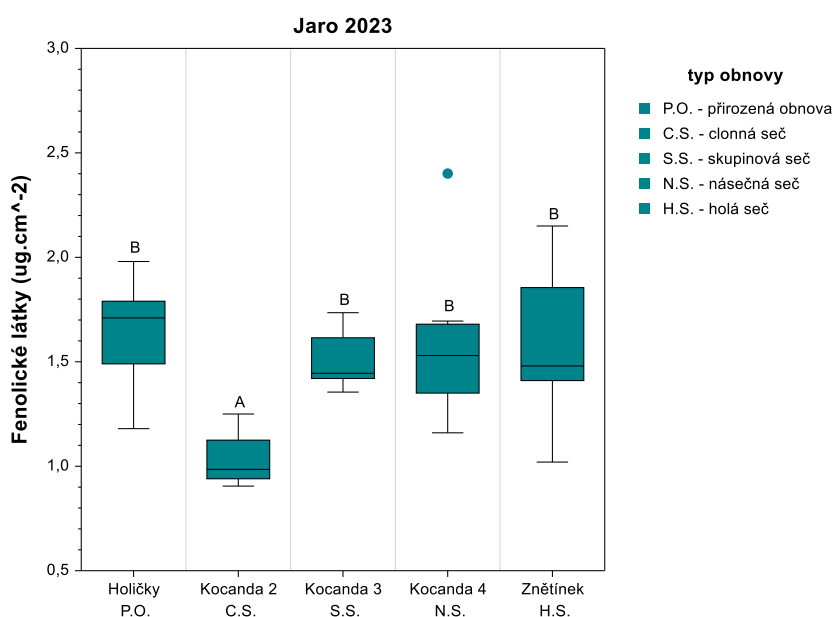
Mimo výše zmíněné statisticky testované rozdíly mezi lokalitami můžeme na obrázku 32 pozorovat změny v akumulaci celkových karotenoidů, vyjma lokality clonná seč, kde tento trend není nikterak průkazný, viz tab. 11. Ovšem v rámci ostatních lokalit, již k průkazným rozdílům mezi jednotlivými ročníky na lokalitách dochází, což může mít opět souvislost se zvyšujícím se věkem jehlic a s postupnou adaptací na dané světelné podmínky. Kdy tedy dochází k tomu, že se celkový obsah karotenoidů ku celkovému obsahu chlorofylu zvyšuje, a to u druhého ročníku jehlic.

**Tabulka 11:** Tabulka signifikance obsahu celkových karotenoidů ku celkovému chlorofylu u letního odběru roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a jednotlivé barvy v tabulce znázorňují jaký T-Test byl na základě statistického vyhodnocení použit. Zelená barva: Equal-Variance T-Test; oranžová barva: Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank-Sum Test for Difference in Location.

Signifikance (*)		Přirozená obnova	Clonná seč	Skupinová seč	Násečná seč	Holá seč
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	Kar/Chl a + b	*0,012763	0,173456	*0,001309	*0,009108	*0,00217

## 4.5 Obsah rozpustných fenolických látek

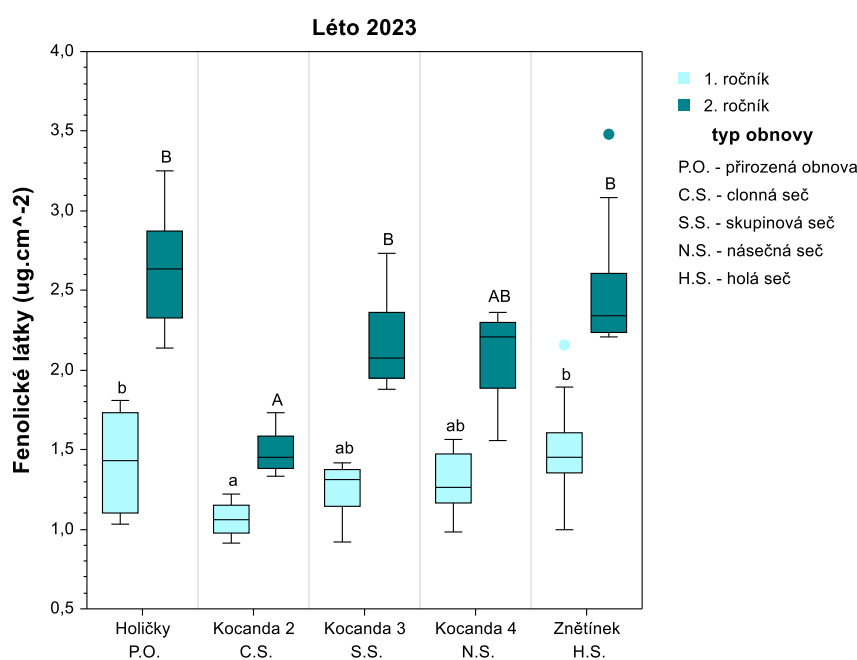
Obrázek 33 vyobrazuje obsah rozpustných fenolických látek pro jehlice odebrané na jaře v roce 2023. Z tohoto obrázku je patrné, že celkový obsah rozpustných fenolických látek je průkazně nejnižší na lokalitě představovanou clonnou sečí, a to  $1 \text{ ug.cm}^{-2}$ . V rámci ostatních lokalit je obsah rozpustných fenolických látek relativně stejný, to znamená, že je srovnatelný pro zbylé lokality umělé obnovy i pro lokalitu přirozené obnovy a dosahuje hodnot pohybujících se přibližně v rozmezí  $1,4$  až  $1,7 \text{ ug.cm}^{-2}$ .



**Obrázek 33:** Celkový obsah rozpustných fenolických látek vztahovaný na plochu odebraných jehlic na jaře roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikována jednocestná ANOVA a Kruskal-Wallisův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny nad jednotlivými box ploty grafu. Jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

Stejně jako u prvního ročníku jehlic, tak i u druhého ročníku jehlic je na obrázku 34 viditelné, že je obsah rozpustných fenolických látek signifikantně nejnižší na lokalitě clonná seč,

1,1 ug.cm<sup>-2</sup>, která představuje pravděpodobně nejvyšší míru stínění. Oproti clonné seči lokality přirozená obnova a holá seč vykazují signifikantně nejvyšší obsah fenolických látek, a to 2,6 ug.cm<sup>-2</sup> přirozená obnova a 2,3 ug.cm<sup>-2</sup> holá seč. V neposlední řadě jsou zde lokality skupinová a násečná seč, které jsou relativně stejné, a tudíž srovnatelné se všemi ostatními lokalitami. Přičemž tyto výzkumné lokality dosahují 2,1–2,3 ug.cm<sup>-2</sup> v obsahu rozpustných fenolických látek. U druhého ročníku jehlic letního odběru jsou velmi podobné trendy jako u ročníku prvního. Opět je zde signifikantně nejnižší obsah fenolických látek na clonné seči, nicméně je vyšší oproti prvnímu ročníku jehlic a činí přibližně 1,4 ug.cm<sup>-2</sup>. Mimo přirozenou obnovu a holou seč dochází také k signifikantnímu rozdílu od clonné seče ještě i na lokalitě skupinové seče. Jako poslední je zde násečná seč, která se u druhého ročníku jehlic nikterak neliší od ostatních lokalit, je tedy co do obsahu rozpustných fenolických látek, které činí 2,2 ug.cm<sup>-2</sup>, relativně stejná s ostatními výzkumnými lokalitami.



**Obrázek 34:** Celkový obsah rozpustných fenolických látek vztahovaný na plochu odebraných jehlic v létě roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikována jednocestná ANOVA (pro každý ročník zvlášť). Tukey-Kramerův test (pro 1. ročník) a Kruskal-Wallisův test (pro 2. ročník jehlic). Rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny (1. ročník malá písmena; 2. ročník velká písmena) nad jednotlivými box ploty grafu. Jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

Mimo výše popsané statisticky testované rozdíly mezi jednotlivými lokalitami je také z obrázku 34 zřejmé, že dochází k postupné akumulaci fenolických látek, což dokládá i tabulka 12 s jednotlivými p-hodnotami, a to napříč všemi lokalitami. Tento trend souvisí pravděpodobně,

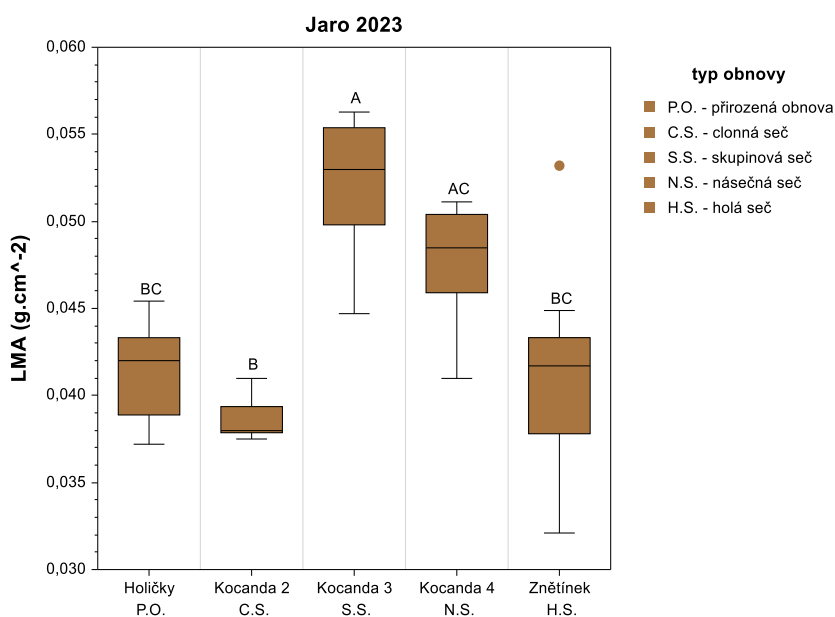
jako u předchozích sledovaných parametrů, se zvyšujícím se věkem jehlic a jejich postupnou adaptací na dané světelné podmínky v rámci všech výzkumných lokalit.

**Tabulka 12:** Tabulka signifikance obsahu fenolických látek u letního odběru roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a jednotlivé barvy v tabulce znázorňují jaký T-Test byl na základě statistického vyhodnocení použit. Zelená barva: Equal-Variance T-Test; oranžová barva: Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank-Sum Test for Difference in Location.

Signifikance (*)		Přirozená obnova	Clonná seč	Skupinová seč	Násečná seč	Holá seč
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	Fenoly	*0,00000	*0,00000	*0,00000	*0,00000	*0,000183

#### 4.6 Specifická listová hmotnost – LMA

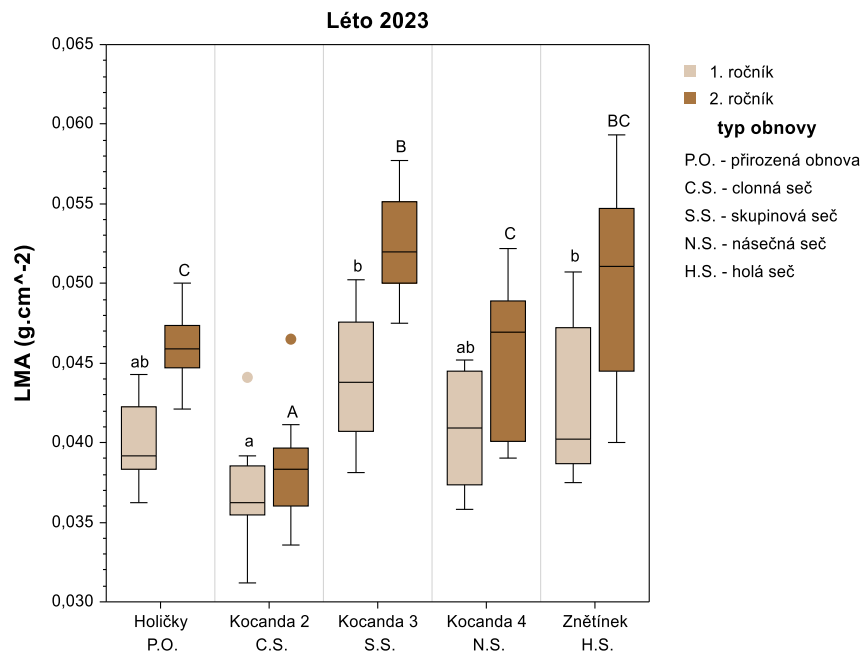
Obrázek 35 zobrazuje specifickou hmotnost jehlic vztažených na plochu neboli LMA z angl. leaf mass per area. Na tomto obrázku můžeme vidět, že hodnota LMA je v rámci jednotlivých výzkumných lokalit relativně různá. Například lokality skupinová a násečná seč dosahují signifikantně nejvyšších hodnot LMA a to 0,053 a 0,048 g.cm<sup>-2</sup>. Naopak signifikantně nejnižší hodnot LMA je dosaženo na lokalitě clonná seč, 0,037 g.cm<sup>-2</sup>. Mimo tyto trendy na již zmiňovaných lokalitách je rovněž z obrázku patrné, že výzkumné lokality přirozená obnova a holá seč mají hodnoty LMA srovnatelné, přičemž tyto hodnoty činí zhruba 0,042 g.cm<sup>-2</sup>.



**Obrázek 35:** Specifická hmotnost jehlic vztažená na plochu (LMA) odebraných na jaře roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla

aplikovaná jednocestná ANOVA a Kruskal-Wallisův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny nad jednotlivými box ploty grafu. Jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

Na obrázku 36 je opět vidět, že hodnoty LMA jsou rozdílné napříč výzkumnými lokalitami. U prvního ročníku jehlic můžeme vidět, že signifikantně nejnižších hodnot LMA je dosaženo na clonné seči, 0,036 g.cm<sup>-2</sup>, stejně jako u jarního odběru. Oproti tomu výzkumné lokality skupinová a holá seč dosahují vyšších hodnot LMA a jsou tak od lokality clonná seč průkazně odlišné. Konkrétně se jedná o hodnoty 0,044 g.cm<sup>-2</sup> LMA na lokalitě představované skupinovou sečí a 0,040 g.cm<sup>-2</sup> na holé seči. Zbylé lokality, a to přirozená obnova a násečná seč se v tomto případě od ostatních lokalit nikterak průkazně neliší a dosahují hodnot 0,039 až 0,041 g.cm<sup>-2</sup>. V rámci druhého ročníku je opět clonná seč lokalitou se signifikantně nejnižší hodnotou LMA, a to 0,038 g.cm<sup>-2</sup>. Naopak lokalita se skupinovou sečí vykazuje signifikantně nejvyšších hodnot LMA společně i s holou sečí, 0,052 a 0,051 g.cm<sup>-2</sup>. Nicméně lokalita holá seč se signifikantně liší pouze již od zmiňované lokality clonná seč. Zbylé lokality a to, přirozená obnova a násečná seč vykazují podobné hodnoty LMA a liší se pouze od výzkumných lokalit clonné a skupinové seče.



**Obrázek 36:** Specifická hmotnost jehlic vztážená na plochu (LMA) odebraných v létě roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA (pro každý ročník zvlášť) a Tukey-Kramerův test (pro 1. i 2. ročník jehlic). Rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny (1. ročník malá písmena; 2. ročník velká písmena) nad jednotlivými box ploty grafu. Jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

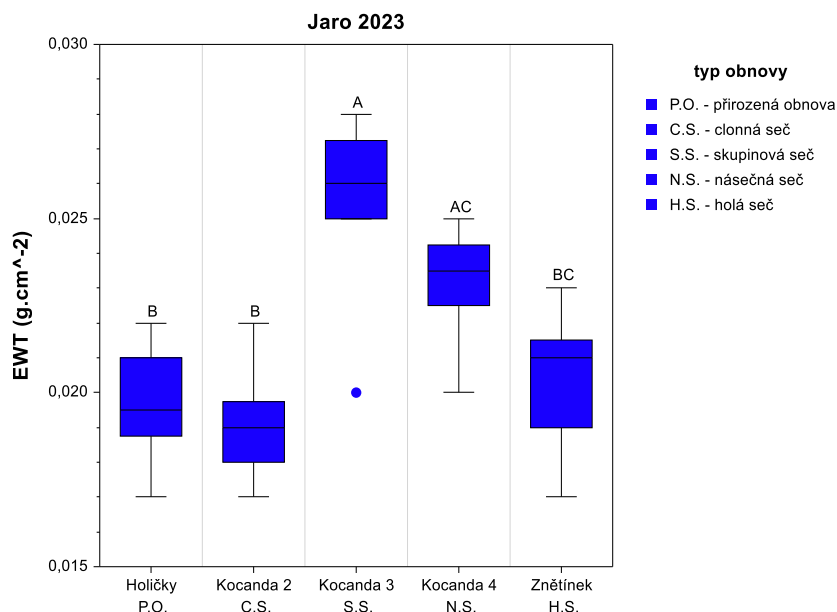
Mimo výše popisované statisticky testované rozdíly mezi jednotlivými lokalitami je také z obrázku 36 zřejmé, že dochází k postupnému zvyšování hodnot LMA. Nicméně stejně jako u celkových karotenoidů ku celkovému chlorofylu tento trend není nikterak průkazný u lokality clonná seč, viz tabulka 13. Ovšem u zbylých výzkumných lokalit skutečně k postupné akumulaci dochází, a to opět u jehlic druhého ročníku. Tento trend stejně jako u ostatních parametrů zřejmě souvisí se zvyšujícím se věkem jehlic a jejich postupnou adaptací na dané světelné podmínky v rámci všech výzkumných lokalit.

**Tabulka 13:** Tabulka signifikance pro specifickou hmotnost jehlic vztaženou na plochu (LMA) u letního odběru roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a barva v tabulce znázorňuje jaký T-Test byl na základě statistického vyhodnocení použit. Zelená barva: Equal-Variance T-Test.

Signifikance (*)		Přirozená obnova	Clonná seč	Skupinová seč	Násečná seč	Holá seč
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	LMA	*0,00002	0,3004	*0,00006	*0,02157	*0,00954

#### 4.7 Obsah vody v listech – EWT

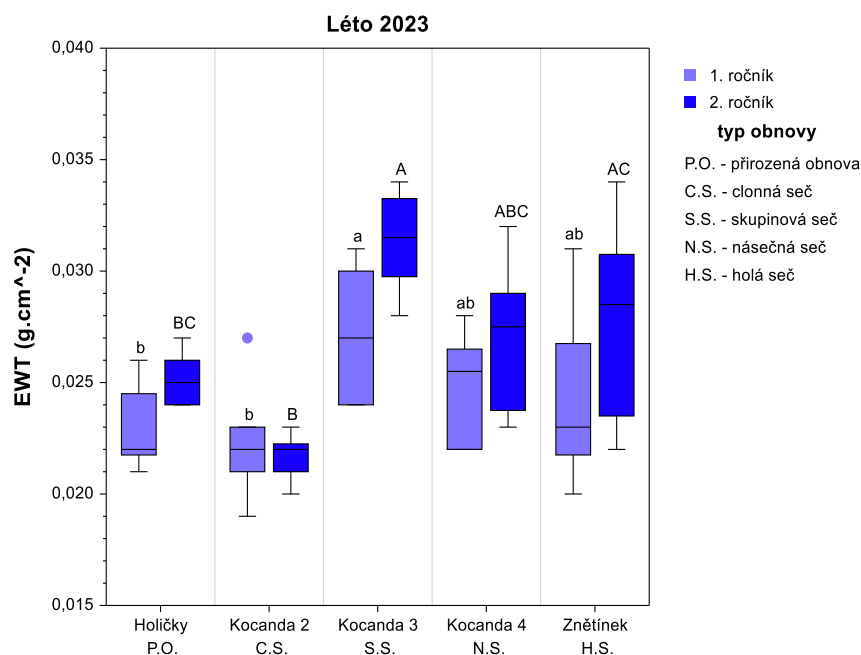
Obrázek 37 vyobrazuje veličinu vyjadřující obsah vody jehlice vztažené k projekční ploše (EWT). Na tomto obr. 37 lze vidět, že veličina EWT je nejvyšší na výzkumných lokalitách skupinová seč, v průměru  $0,026 \text{ g.cm}^{-2}$  a násečná seč, která dosahuje průměrných hodnot okolo  $0,0235 \text{ g.cm}^{-2}$ . Současně lokalita představovaná skupinovou sečí vykazuje signifikantních rozdílů od všech ostatních výzkumných lokalit. Násečná seč se potom liší průkazně jen od lokality přirozené obnovy a clonné seče. Zbylé lokality, a to konkrétně přirozená obnova, clonná seč a holá seč jsou mezi sebou srovnatelné a nikterak se od sebe signifikantně neliší. Napříč všemi těmito lokalitami je obsah vody v jehlicích pozorován okolo hodnot od  $0,019$  do  $0,021 \text{ g.cm}^{-2}$ .



**Obrázek 37:** Obsah vody jehlic vztažených k projekční ploše (EWT) odebraných na jaře roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikována jednocestná ANOVA a Kruskal-Wallisův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny nad jednotlivými box ploty grafu.

Co se obrázku 38 týká, dochází již na výzkumných lokalitách k větší variabilitě hodnoty EWT. Průkazně nejnižších hodnot pro první ročník jehlic je dosaženo na přirozené obnově a clonné seči, a to  $0,022 \text{ g.cm}^{-2}$ . Výzkumná lokalita skupinová seč naopak vykazuje signifikantně nejvyšších hodnot EWT, které činí  $0,027 \text{ g.cm}^{-2}$ . Zbylé lokality násečná a holá seč v tomto případě nevykazují žádné signifikantní rozdíly od již zmiňovaných lokalit v rámci prvního ročníku. Obsah vody v jehlicích na těchto výzkumných lokalitách se tedy pohybuje v rozmezí hodnot  $0,023$  až  $0,026 \text{ g.cm}^{-2}$ . U druhého ročníku je opět clonná seč lokalitou se signifikantně nejnižším obsahem vody v listu, který je stejný jako v případě prvního ročníku. Stejně tak skupinová seč je lokalitou se signifikantně nejvyšším obsahem vody v listu, přičemž tato hodnota je již vyšší oproti prvnímu ročníku, a činí přibližně  $0,032 \text{ g.cm}^{-2}$ . Lokalita přirozené obnovy,  $0,025 \text{ g.cm}^{-2}$ , se průkazně liší jen od již zmiňované skupinové seče a lokalita holé seče,  $0,028 \text{ g.cm}^{-2}$ , se průkazně liší pouze od clonné seče. Poslední z lokalit násečná seč se v tomto případě průkazně neliší od žádné z výzkumných lokalit a její hodnota obsahu vody v jehlicích se pohybuje okolo  $0,027 \text{ g.cm}^{-2}$ .





**Obrázek 38:** Obsah vody jehlic vztahených k projekční ploše (EWT) odebraných v létě roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA (pro každý ročník zvlášť). Tukey-Kramerův test (pro 1. ročník) a Kruskal-Wallisův test (pro 2. ročník jehlic). Rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny (1. ročník malá písmena; 2. ročník velká písmena) nad jednotlivými box ploty grafu. Jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehlé hodnoty měření.

Mimo výše popsané statisticky testované rozdíly mezi jednotlivými lokalitami je také z obrázku 38 vidět, že opět dochází k postupné akumulaci vody v jehlicích u druhého ročníku. Ovšem i zde, tento trend není signifikantní na lokalitách clonné a násečné seče. U zbylých lokalit už k signifikantním rozdílům dochází, více tab. 14.

**Tabulka 14:** Tabulka signifikance obsahu vody v jehlicích (EWT) u letního odběru roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a jednotlivé barvy v tabulce znázorňují jaký T-Test byl na základě statistického vyhodnocení použit. Zelená barva: Equal-Variance T-Test; oranžová barva: Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank – Sum Test for Difference in Location.

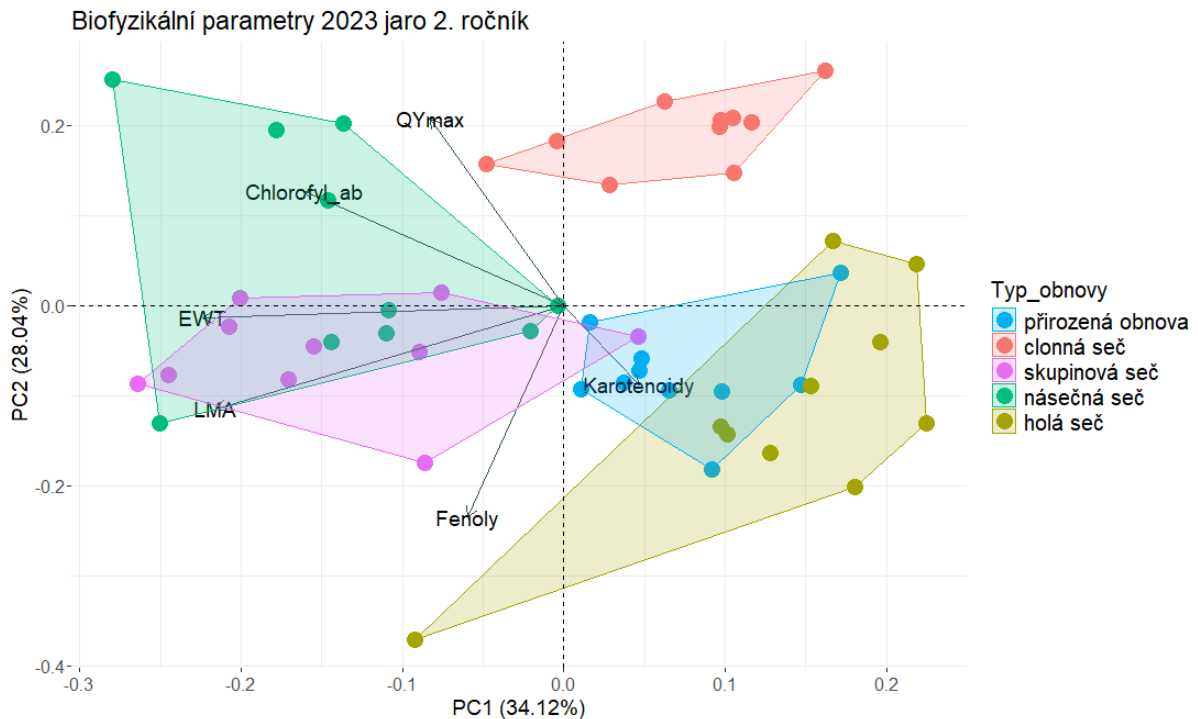
Signifikance (*)		Přirozená obnova	Clonná seč	Skupinová seč	Násečná seč	Holá seč
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	EWT	*0,014005	0,784922	*0,00105	0,11495	*0,04756

#### 4.8 Vícerozměrné analýzy biofyzikálních parametrů

Na biofyzikálních parametrech byla provedena, mimo výše popsaná statistická hodnocení vyobrazena v podobě krabicových grafů, také analýza hlavních komponent (PCA) z angl.

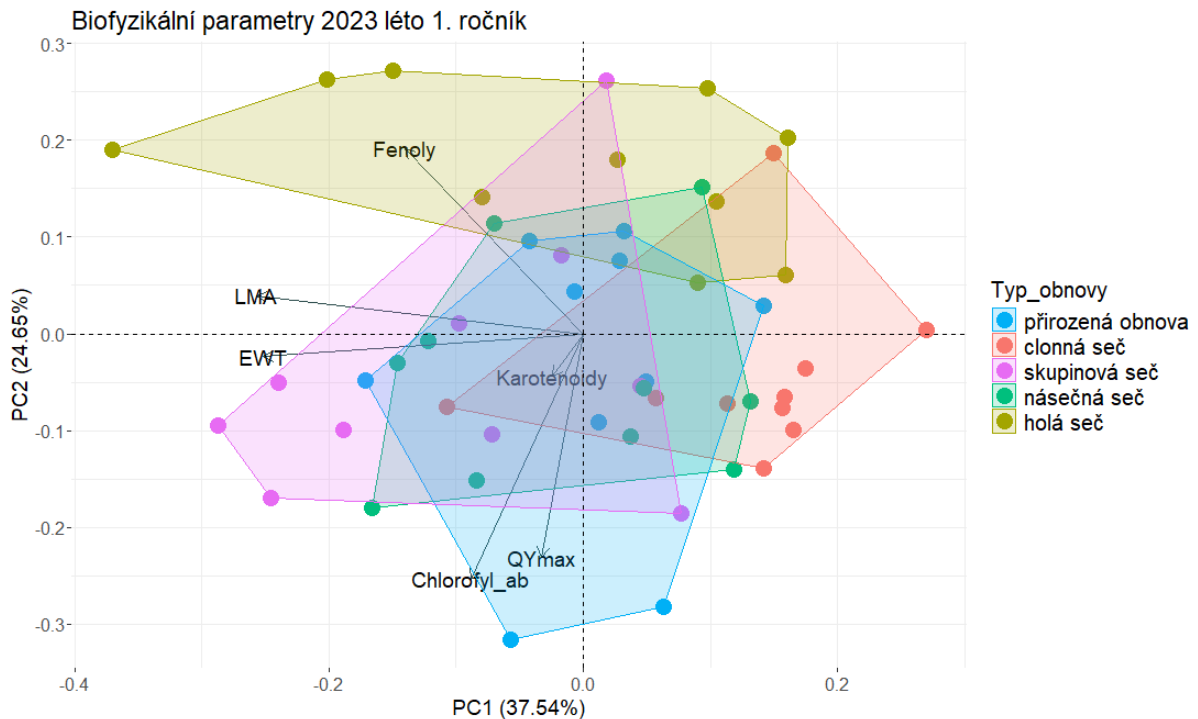
principal component analysis, která byla provedena v programu R-Studio. V rámci těchto analýz jsou v grafech vyobrazeny vybrané biofyzikální parametry vždy pro každý ročník jehlic zvlášť.

Obrázek 39 vyobrazuje biofyzikální parametry z jarního odběru, pouze pro jehlice druhého ročníku, kdy na tomto grafu lze vidět, že pozice jednotlivých bodů tvoří jednak oddělené shluky, ale rovněž dochází k prolínání jejich pozic. Například lokality skupinové a násečné seče se od ostatních lokalit diferencují na základě vyšších hodnot LMA a EWT oproti lokalitám přirozené obnovy a holé seče s vyššími obsahy karotenoidů. Mimo to dochází u násečné seče k největšímu nárůstu celkového chlorofylu, který dosahuje na této lokalitě nejvyšších hodnot. Naopak akumulace celkového chlorofylu není rozhodující u lokalit přirozené obnovy a holé seče. Na těchto lokalitách dochází spíše k akumulaci, a tím i vyšším hodnotám karotenoidů, nicméně vliv této proměnné – karotenoidy, nemá v tomto případě na odlišení lokalit takový vliv jako právě, nižší obsahy celkového chlorofylu. Tento trend je zřejmý právě díky orientacím a velikostem vektorů pro jednotlivé měřené veličiny (šipky a jejich délky). Mimo to, lze pozorovat u celkového chlorofylu a hodnoty QYmax pozitivní korelaci, stejně jako je tomu u již zmiňovaných hodnot LMA a EWT. V neposlední řadě, lze vidět, že lokalita clonné seče obsahuje nejméně fenolických látek v rámci všech výzkumných lokalit.



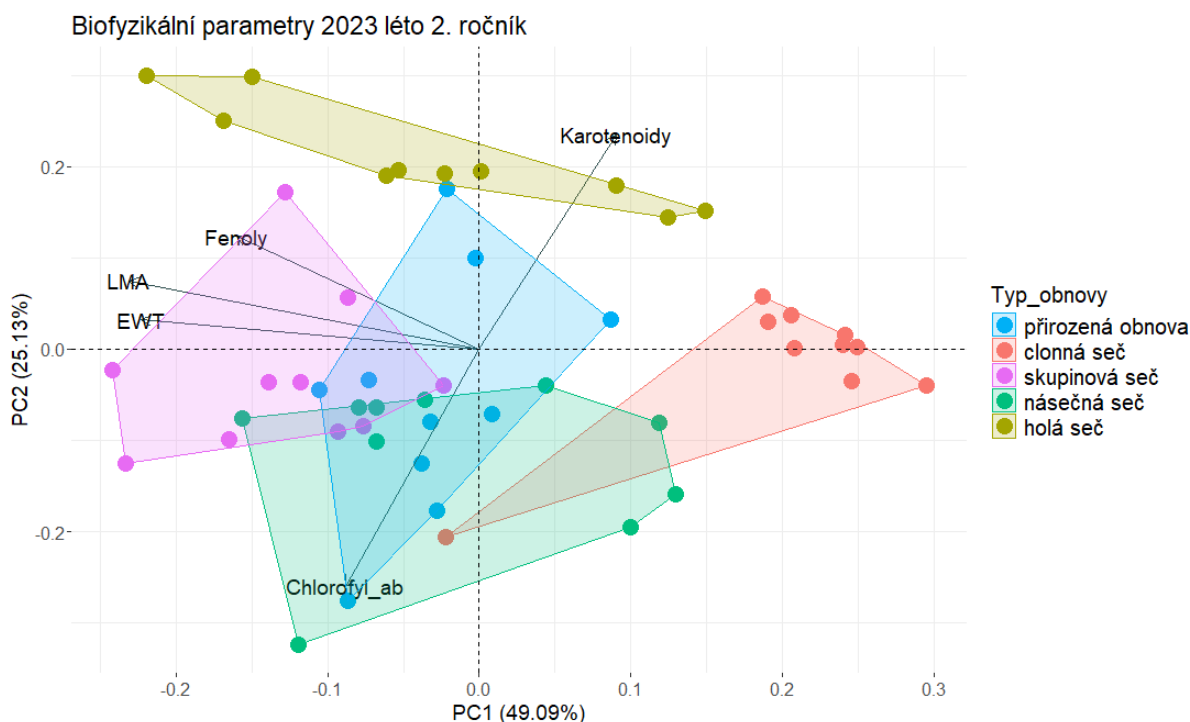
**Obrázek 39:** Analýza hlavních komponent (PCA) biofyzikálních parametrů měřených na 2. ročnících jehlic odebraných na jaře roku 2023. Barevné rozdělení skupin dle jednotlivých výzkumných lokalit a jejich typu obnovy (přirozená obnova, clonná seč, skupinová seč, násečná seč a holá seč). Biofyzikální parametry: Chlorofyl\_ab – celkový chlorofyl ( $a+b$ ); EWT – obsah vody jehlice vztážený na projekční plochu; Fenoly – fenolické látky; Karotenoidy – celkový obsah karotenoidů; LMA – specifická listová hmotnost; QYmax – maximální kvantový výtěžek PSII. PC (principal component) – hlavní komponenta; Barevné obrazce sdružují body náležící jedné výzkumné lokalitě, tedy jednomu typu obnovy.

Na obrázku 40 lze vidět výsledky vícerozměrných analýz pro letní odběr a tady konkrétně pro první ročník jehlic. Na rozdíl od biofyzikálních parametrů jaro 2023 (obr. 39) je zcela patrné, že zde k odděleným shlukům bodů téměř nedochází. Nicméně lze říct, že dochází opět k pozitivní korelaci mezi parametry LMA a EWT, které jsou opět nejvíce obsaženy na lokalitě skupinová seč, stejně jako u jarního odběru. Podobně jako u parametrů LMA a EWT dochází také k pozitivní korelaci mezi celkovým chlorofylem a hodnotami QYmax, přičemž tyto parametry dosahují nejvyšších hodnot na lokalitě přirozené obnovy. Naopak nejmenší zastoupení Chl ( $a+b$ ) je na lokalitě holá seč, kde je současně nejvyšší zastoupení fenolických látek.



**Obrázek 40:** Analýza hlavních komponent (PCA) biofyzikálních parametrů měřených na 1. ročnících jehlic odebraných v létě roku 2023. Barevné rozdělení skupin dle jednotlivých výzkumných lokalit a jejich typu obnovy (přirozená obnova, clonná seč, skupinová seč, násečná seč a holá seč). Biofyzikální parametry: Chlorofyl\_ab – celkový chlorofyl (a+b); EWT – obsah vody jehlice vztahovaný na projekční plochu; Fenoly – fenolické látky; Karotenoidy – celkový obsah karotenoidů; LMA – specifická listová hmotnost; QYmax – maximální kvantový výtěžek PSII. PC (principal component) – hlavní komponenta; Barevné obrazce sdružují body náležící jedné výzkumné lokalitě, tedy jednomu typu obnovy.

Posledním grafem představující vícerozměrnou analýzu biofyzikálních parametrů je obrázek 41. Na tomto obrázku jsou vyneseny hodnoty druhého ročníku jehlic v rámci letního odběru, které tvoří již více oddělených shluků oproti prvnímu ročníku letního odběru. I v tomto případě dochází k pozitivní korelaci hodnot LMA a EWT, které dosahují nejvyšších hodnot na skupinové seči. Celkový chlorofyl je v tomto případě nejhojněji zastoupen na lokalitách přirozené obnovy a násečné seči. U fenolických látek můžeme pozorovat stejný trend jako u předchozích grafů s vícerozměrnými analýzami, a to sice, že fenolické látky jsou nejméně zastoupené na lokalitě clonná seč. Mimo to, můžeme vidět i relativně velký nárůst celkových karotenoidů, kdy jejich akumulace je nejvíce patrná na lokalitě holá seč.



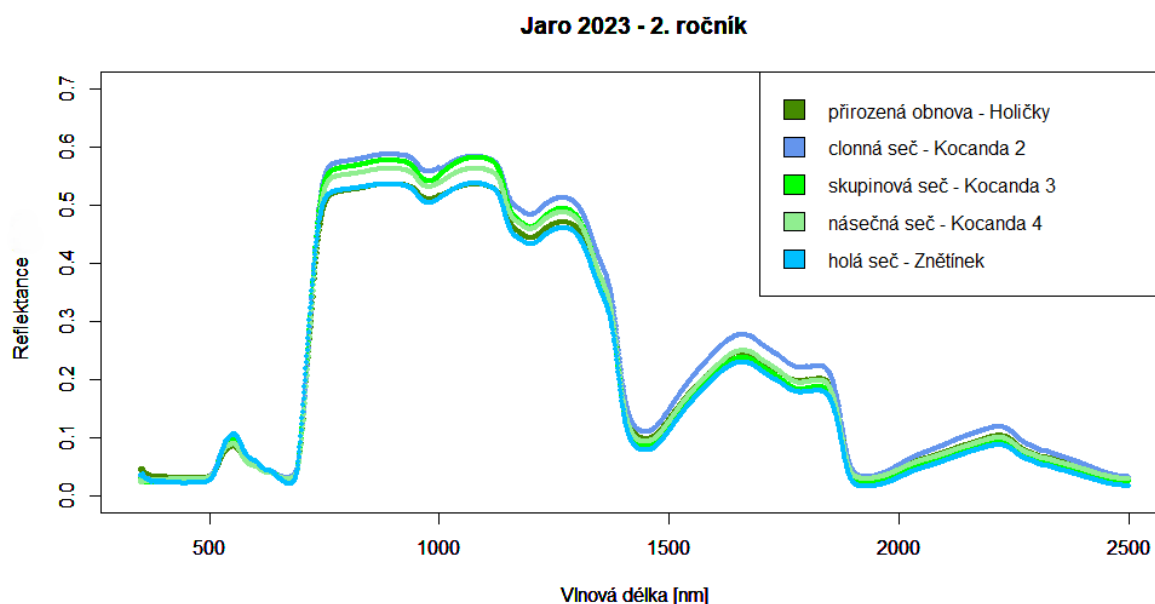
**Obrázek 41:** Analýza hlavních komponent (PCA) biofyzikálních parametrů měřených na 2. ročnících jehlic odebraných v létě roku 2023. Barevné rozdělení skupin dle jednotlivých výzkumných lokalit a jejich typu obnovy (přirozená obnova, clonná seč, skupinová seč, násečná seč a holá seč). Biofyzikální parametry: Chlorofyl\_ab – celkový chlorofyl (a+b); EWT – obsah vody jehlice vztážený na projekční plochu; Fenoly – fenolické látky; Karotenoidy – celkový obsah karotenoidů; LMA – specifická listová hmotnost; QYmax – maximální kvantový výtěžek PSII. PC (principal component) – hlavní komponenta; Barevné obrazce sdružují body náležící jedné výzkumné lokalitě, tedy jednomu typu obnovy.

#### 4.9 Odrazivosti vzorků listoví

Odrazivost vzorků listoví byla měřena za pomoci spektrometru, viz kapitola 3.9, díky kterému jsme schopni změřit právě onu odrazivost od jednotlivých vzorků ve vlnových délkách pohybujících se v rozmezí 350–2500 nm. Výsledkem těchto měření jsou jednotlivé křivky odrazivosti vzorků, kdy zpravidla jedna křivka prezentuje danou výzkumnou lokalitu, viz obrázky 42, 43 a 44. Přičemž tyto křivky v rámci jednotlivých grafů nám slouží zejména jako vizualizace intenzity odrazivosti listoví mlazin jedlí bělokorych na výzkumných lokalitách. Mimo tyto tři obrázky jsou v kapitole 8 (příloha 7–11) další grafy, a to vždy pro srovnání odrazivosti vzorků listoví mezi jarem a létem 2023 vždy pro každý typ obnovy zvlášť. Rovněž jsou zde i grafy (příloha 12–16) srovnávající ročníky jehlic u letního odběru, a to opět pro každý typ obnovy odděleně.

Na prvním obrázku 42, jarní odběr druhého ročníku jehlic, můžeme vidět, že spektrální křivky pro jednotlivá stanoviště jsou od sebe relativně dobře rozeznatelná. Nejvyšších naměřených

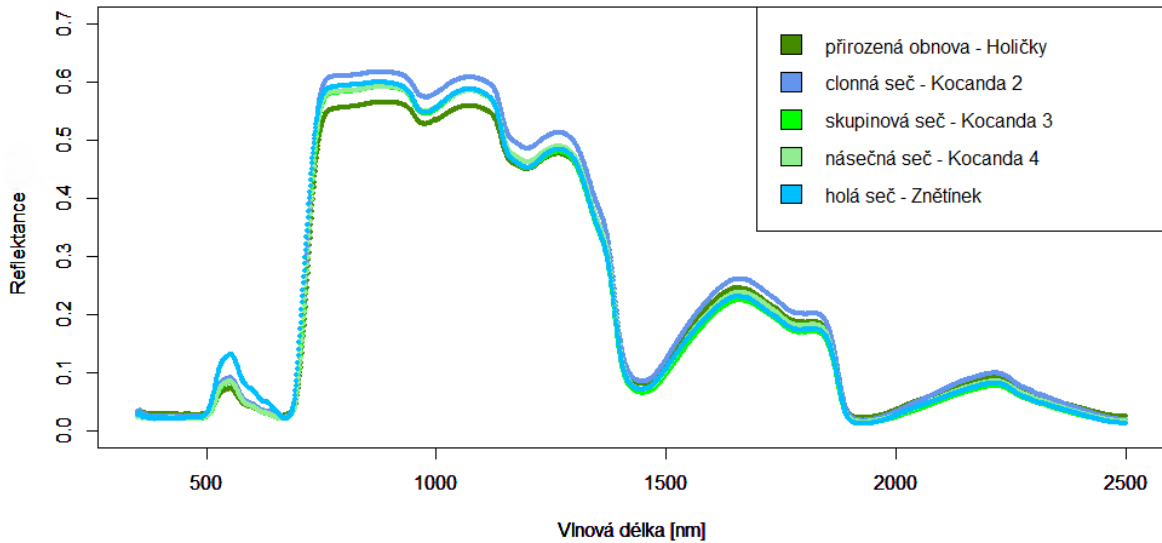
hodnot ve viditelné oblasti záření (VIS, 350–750 nm) bylo dosaženo na holé seči. Naopak nejvyšší hodnota v blízké infračervené oblasti záření (NIR, 750–1200 nm) dosáhla výzkumná lokalita clonná seč, která dosáhla i nejvyšších naměřených hodnot v krátkovlnné infračervené oblasti záření (SWIR, 1200–2500 nm).



**Obrázek 42:** Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré na jednotlivých výzkumných lokalitách na jaře roku 2023. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

Další obrázek 43 vyobrazuje spektrální křivky mlazin jedlí bělokorých, nicméně v tomto případě se jedná o spektrální křivky, které byly naměřeny na jehlicích prvního ročníku odebraných v létě roku 2023. I zde můžeme vidět, že jednotlivé křivky nabývají rozdílných hodnot mezi jednotlivými výzkumnými lokalitami. Nejvyšších hodnot, stejně jako u jarního odběru, dosahuje ve VIS lokalita holá seč. Stejně tak i v NIR a SWIR dosahuje nejvyšších hodnot odrazivosti vzorků clonná seč. Mimo to si můžeme povšimnout, že v blízké infračervené oblasti záření nabývá nejnižších hodnot odrazivosti lokalita přirozené obnovy.

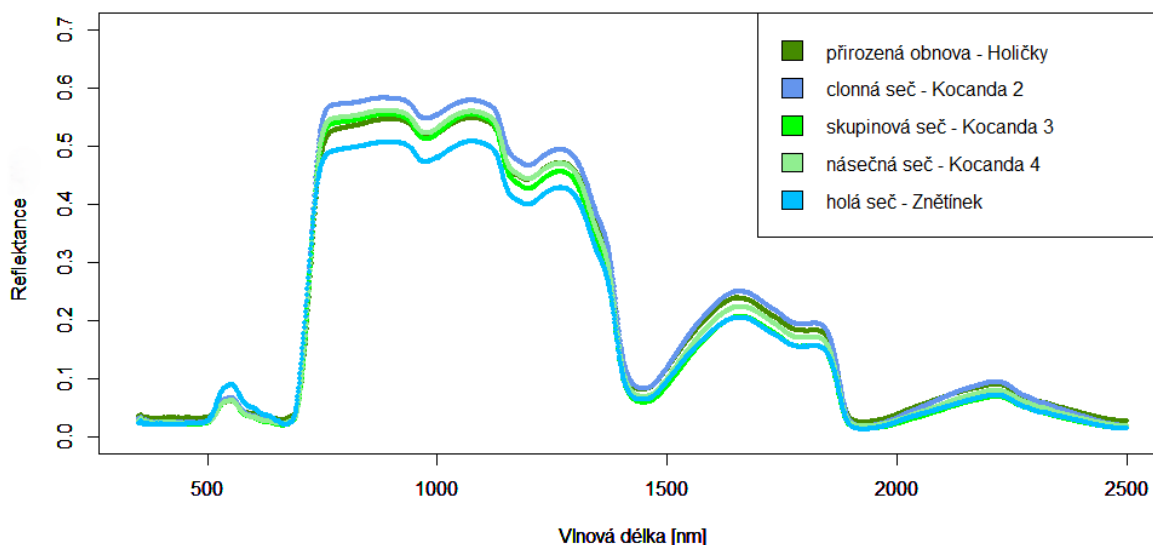
### Léto 2023 - 1. ročník



**Obrázek 43:** Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré na jednotlivých výzkumných lokalitách v létě roku 2023, 1. ročník jehlic. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

Posledním obrázkem, který vyobrazuje spektrální odrazivost vzorků listoví je obrázek 44, na kterém můžeme vidět jednotlivé křivky pro druhé ročníky jehlic odebrané taktéž v létě 2023. I zde nám přetrvává trend, kdy ve VIS nabývá nejvyšších hodnot odrazivosti lokalita holá seč. Současně rovněž přetrvává i stejný trend pro NIR a SWIR, a to sice, že v těchto oblastech záření dosahuje nejvyšších hodnot odrazivosti clonná seč, stejně jako je tomu u jarního a letního odběru pro první ročník, obr. 42 a 43. Nejnižších hodnot v NIR u druhého ročníku jehlic nenabývá lokalita přirozená obnova, jako je tomu u prvního ročníku (obr. 43), ale lokalita holá seč.

### Léto 2023 - 2. ročník

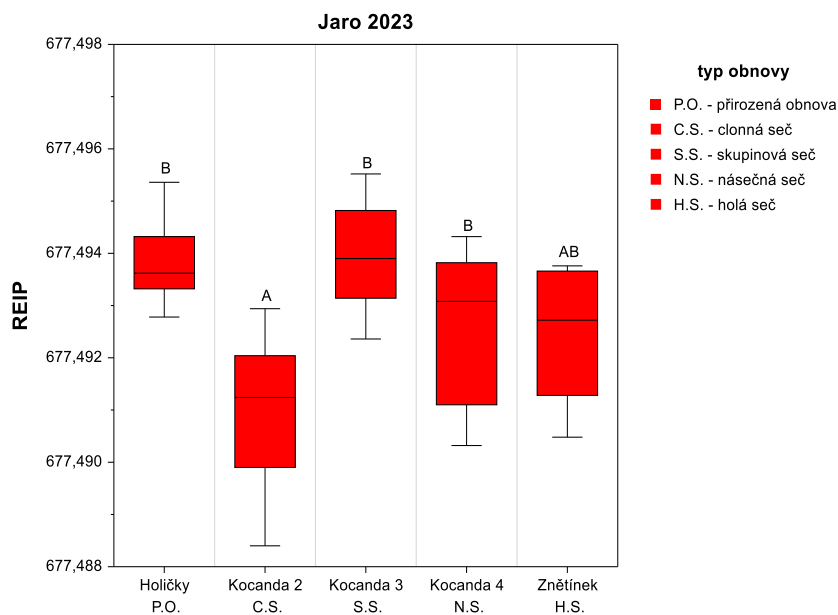


**Obrázek 44:** Křivka odrazivosti vegetace mlazín jedle bělokoré na jednotlivých výzkumných lokalitách v létě roku 2023, 2. ročník jehlic. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

Z naměřených dat spektrální odrazivost vzorků listoví, které jsou vizualizovány na obr. 42-44, byly mimo jiné získány hodnoty REIP neboli hodnoty pozic inflexního bodu červeného okraje. Tyto hodnoty REIP mohou podobně jako např. QYmax sloužit k hodnocení fyziologického stavu rostlin.

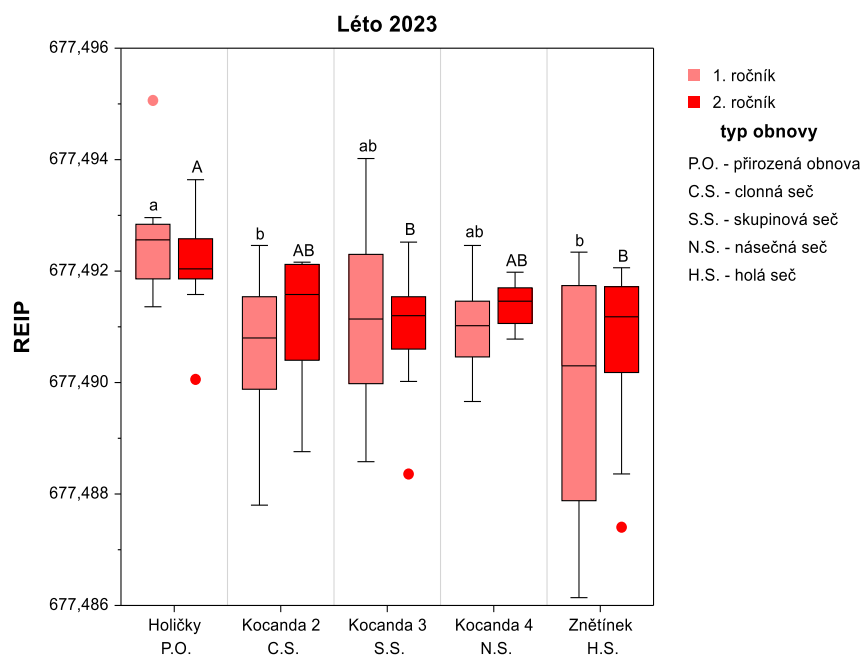
V rámci této práce byly pro pozice inflexního bodu červeného okraje vytvořeny krabicové grafy, a to opět pro jarní a letní odběr zvláště, stejně jako tomu bylo u biofyzikálních parametrů (kapitoly 4.2 až 4.7). Na prvním z těchto obrázků (obr. 45) můžeme vidět, že k drobným rozdílům mezi jednotlivými výzkumnými lokalitami dochází. Lze vidět, že lokalita představovaná clonnou sečí se signifikantně liší od lokalit, které představují pravděpodobnou střední míru stínění, což je přirozená obnova, skupinová seč a násečná seč. Lokalita holá seč, která je představovaná pravděpodobně nejnižší mírou stínění v tomto případě nevykazuje žádné odlišnosti od ostatních lokalit.





**Obrázek 45:** Hodnoty REIP – pozice inflexního bodu červeného okraje, spektrálních dat odrazivosti vzorků listoví, odebraných na jaře roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA a Tukey-Kramerův test, rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny nad jednotlivými box ploty grafu.

Další obrázek 46 také vyobrazuje hodnoty REIP, ovšem pro jehlice, které byly odebrané v létě, tudíž je zde zastoupen první a druhý ročník jehlic. U prvního ročníku jehlic si můžeme všimnout, že nejvyšších naměřených hodnot REIP dosáhla výzkumná lokalita přirozená obnova, která se tak významně liší od téměř všech zbylých výzkumných lokalit. Současně dochází k tomu, že lokalita clonná a holá seč, vykazují podobné rozdělení. V neposlední řadě jsou zde lokality představované skupinovou a násečnou sečí, které se v tomto případě neliší od žádné jiné výzkumné lokality. Co se druhých ročníku jehlic týká, máme zde zastoupeny téměř podobné trendy jako u ročníku prvního. Jediným rozdílem zde je, že se v tomto případě nikterak významně neodlišuje lokalita clonná seč a naopak lokalita zastoupena skupinovou sečí zde vykazuje významné rozdíly právě od přirozené obnovy.



**Obrázek 46:** Hodnoty REIP – pozice inflexního bodu červeného okraje, spektrálních dat odrazivosti vzorků listoví, odebraných v létě roku 2023. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé výzkumné lokality (typ obnovy). Na data odpovídající jednotlivým oddílům grafu byla aplikovaná jednocestná ANOVA (pro každý ročník zvlášť). Tukey- Kramerův test (pro 1. ročník) a Kruskal-Wallisův test (pro 2. ročník jehlic). Rozdíly byly hodnoceny jako průkazné na hladině  $\alpha = 0,05$ . Statisticky signifikantní rozdíly jsou v grafu znázorněny odlišnými písmeny (1. ročník malá písmena; 2. ročník velká písmena) nad jednotlivými box ploty grafu. Jednotlivé body (tečky) grafu znázorňují odlehle hodnoty měření.

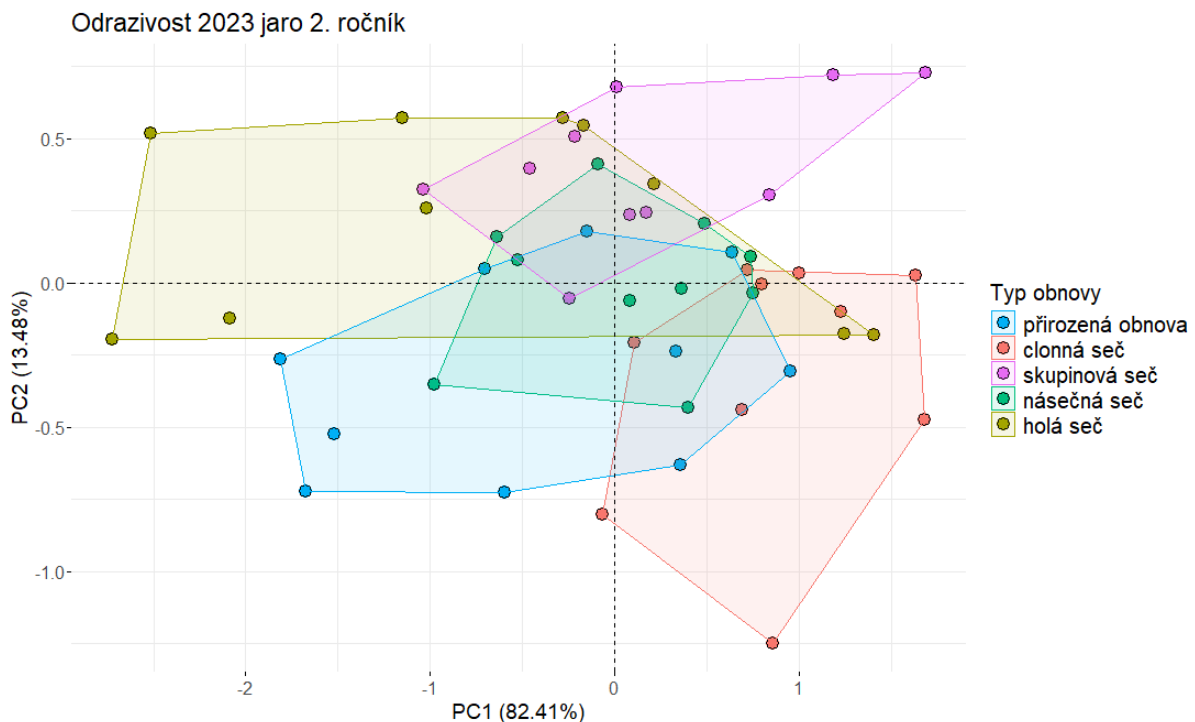
Stejně jako u biofyzikálních parametrů, i zde došlo k otestování signifikance mezi jednotlivými ročníky jehlic v rámci letního odběru. V tomto případě je z tabulky 15 zřejmé, že u naměřených REIP hodnot mezi jednotlivými ročníky k žádným signifikantním rozdílům nedochází.

**Tabulka 15:** Tabulka signifikance hodnot REIP – pozice inflexního bodu červeného okraje, spektrálních dat odrazivosti vzorků listoví u letního odběru roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a barva v tabulce znázorňuje jaký T-Test byl na základě statistického vyhodnocení použit. Oranžová barva: Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank-Sum Test for Difference in Location.

Signifikance (*)		Přirozená obnova	Clonná seč	Skupinová seč	Násečná seč	Holá seč
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	REIP	0,384673	0,273036	0,96985	0,121225	0,520523

Z jednotlivých grafů (obr. 45 a 46) můžeme rovněž vyčíst, že se hodnoty pozic inflexních bodů červeného okraje pohybovaly pro jarní odběr okolo průměrných hodnot 677,4924 více viz příloha 17. Pro letní odběr hodnoty REIP dosahovaly průměrných hodnot 677,4910 pro první ročník jehlic a 677,4913 pro druhý ročník jehlic, více přílohy 18 a 19.

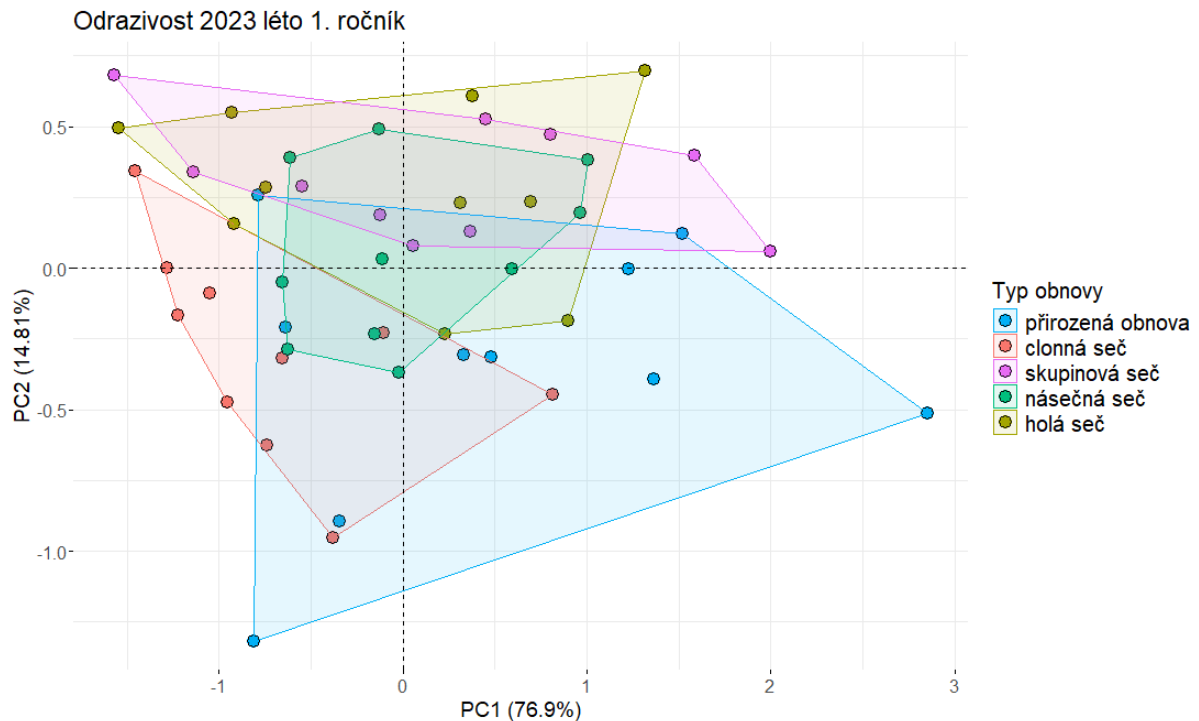
Kromě výše popisovaných křivek odrazivosti pro jednotlivá výzkumná stanoviště, byla právě odrazivost vzorků hodnocena i pomocí analýzy hlavních komponent (PCA) podobně jako všechny sledované biofyzikální parametry. Analýza hlavních komponent byla provedena opět pro jarní odběr druhého ročníku jehlic (obr. 47), pro letní odběr prvního ročníku jehlic (obr. 48) a pro letní odběr druhého ročníku jehlic (obr. 49). Na prvním z těchto obrázků (obr. 47) můžeme vidět, že se jednotlivé výzkumné lokality, kromě jedné výjimky, navzájem částečně překrývají. Touto výjimkou, kde nedochází k překryvu jednotlivých měření mezi lokalitami je clonná seč společně se skupinovou sečí. Další poměrně dobře viditelné rozdíly jsou mezi lokalitami clonná a holá seč, které vykazují vzájemně velké odlišnosti, podobně jako lokality přirozená obnova se skupinovou sečí. Výzkumná lokalita násečná seč se v tomto případě nikterak neliší ani od jedné z výzkumných lokalit.



**Obrázek 47:** Analýza hlavních komponent (PCA) odrazivosti vzorků listoví měřených na 2. ročnících jehlic odebraných na jaře roku 2023. Barevné rozdělení skupin dle jednotlivých výzkumných lokalit a jejich typu obnovy (přirozená obnova, clonná seč, skupinová seč, násečná seč a holá seč). PC (principal component) – hlavní komponenta; Barevné obrazce sdružují body náležící jedné výzkumné lokalitě, tedy jednomu typu obnovy.

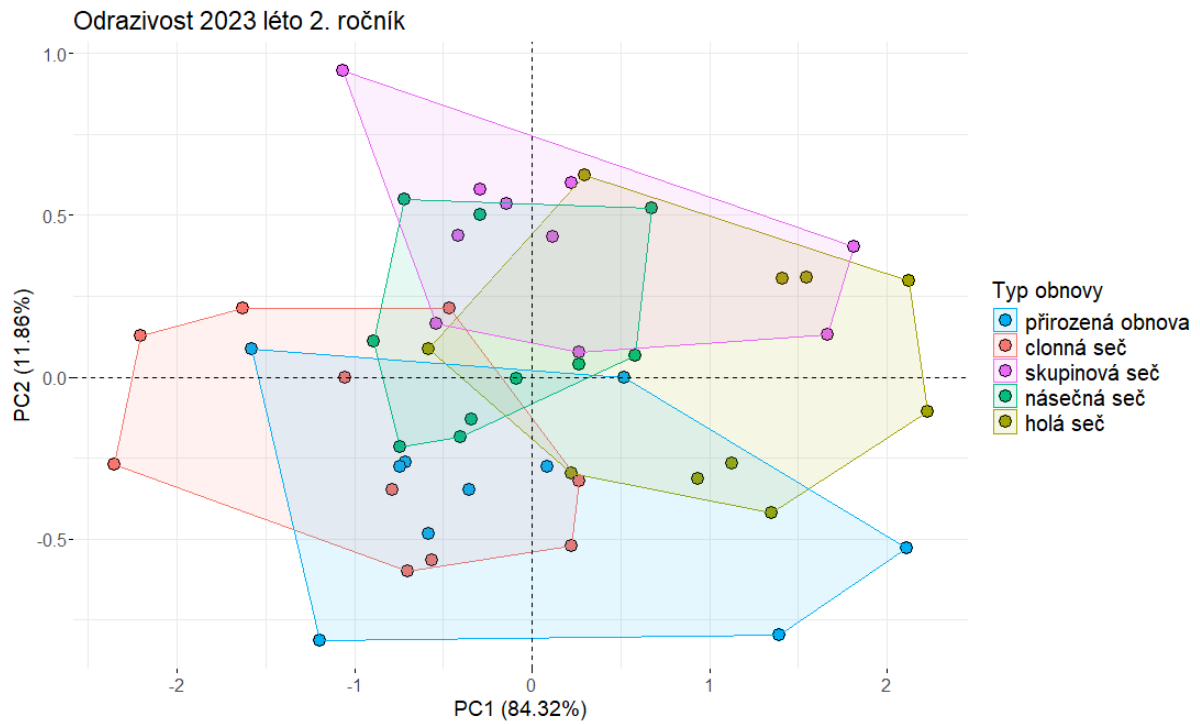
Další obrázek 48 reprezentuje odrazivost jehlic prvního ročníku, odebraných v létě 2023. I zde můžeme vidět, že nedochází k výrazné odlišnosti mezi jednotlivými výzkumnými lokalitami. Největší vzájemné rozdíly můžeme pozorovat opět mezi lokalitami clonné a skupinové seče, kdy stejně tak jako v předchozím případě (obr. 46) nedochází k vzájemnému překryvu

jednotlivých bodů. Mimo to se clonná seč, téměř zcela liší i od holé seče. Výzkumná lokalita násečná seč se ani v tomto případě neliší od žádné jiné výzkumné lokality, což nám ukazuje rozptyl a překryv jednotlivých bodů, které jsou vyneseny v tomto grafu.



**Obrázek 48:** Analýza hlavních komponent (PCA) odrazivosti vzorků listoví měřených na 1. ročníkách jehlic odebraných v létě roku 2023. Barevné rozdělení skupin dle jednotlivých výzkumných lokalit a jejich typu obnovy (přirozená obnova, clonná seč, skupinová seč, násečná seč a holá seč). PC (principal component) – hlavní komponenta; Barevné obrazce sdružují body náležící jedné výzkumné lokalitě, tedy jednomu typu obnovy.

Posledním obrázkem, na kterém je vyobrazena odrazivost vzorků je obr. 49. Konkrétně se tedy jedná o odrazivost naměřenou na jehlicích druhého ročníku letního odběru. Zde můžeme vidět, že se odrazivost v rámci letního odběru změnila a nedochází k již tak výrazným překryvům mezi jednotlivými lokalitami. V tomto případě dochází k největšímu rozdílu mezi lokalitou přirozené obnovy a skupinové seče. Současně stále zůstává zachován i téměř odlišný trend mezi lokalitami clonné a holé seče. Lokalita násečné seče opět nevykazuje žádný průkazný rozdíl od ostatních lokalit, nicméně je zde už lépe patrné, že se nejvíce liší od lokality přirozené obnovy.



**Obrázek 49:** Analýza hlavních komponent (PCA) odrazivosti vzorků listoví měřených na 2. ročnících jehlic odebraných v létě roku 2023. Barevné rozdělení skupin dle jednotlivých výzkumných lokalit a jejich typu obnovy (přirozená obnova, clonná seč, skupinová seč, násečná seč a holá seč). PC (principal component) – hlavní komponenta; Barevné obrazce sdružují body náležící jedné výzkumné lokalitě, tedy jednomu typu obnovy.

## 5 Diskuse

Tato kapitola nabízí diskusi naměřených výsledků, kdy jsou v první řadě představeny mikroklimatické podmínky na jednotlivých výzkumných lokalitách a posléze jsou diskutovány vybrané indikátory fyziologického stavu, a to zejména v souvislosti s předpokládanými různými světelnými podmínkami. Mimo jiné jsou u jednotlivých indikátorů diskutované i použité metody a jejich přínos pro praktické monitorování fyziologického stavu mlazin jedle bělokoré.

### 5.1 Vliv mikroklimatických podmínek na fyziologický stav dřevin

Lesní mikroklima se mnohdy značně liší od mikroklimatických podmínek mimo lesy. Toto lesní mikroklima můžeme chápat jako soubor klimatických podmínek uvnitř a pod korunami stromů (De Frenne et al., 2021; Ewers and Banks-Leite, 2013). Mikroklimatické podmínky, které byly na jednotlivých výzkumných lokalitách v rámci této práce měřeny jsou teplota a půdní vlhkost. Teplota byla zaznamenávána na čtyřech různých úrovních a to, ve výšce přibližně 130 a 15 cm nad zemí, v úrovni půdy (0 cm) a zhruba 10 cm pod povrchem půdy. Půdní vlhkost byla zaznamenávána v hloubce přibližně 6 cm. Mimo jiné byla záměrem práce i kvantifikace světleného mikroklimatu přímo na jednotlivých výzkumných lokalitách ve spolupráci s VÚLHM, kdy měl být hodnocen index listové plochy (LAI) nad studovaným porostem jedlových mlazin z hemisférických fotografií (Hederová et al., 2023). Měření LAI nad mlazinami s výškou v rozmezí přibližně 5 až 7 metrů vyžaduje specifické technické vybavení – tj. vysoký stativ. Tento stativ ovšem během vypracovávání této práce nebyl na VÚLHM k dispozici, a proto je v celé práci uvažovaná předpokládaná míra stínění v závislosti na charakteru dané obnovní seče. Z tohoto důvodu také nebylo možno přímo testovat regresní vztahy mezi světelným mikroklimatem a měřenými parametry jehlic.

Mnohé práce např. De Frenne et al. (2021, 2019) a von Arx et al. (2013) uvádějí, že pod korunami stromů je sluneční světlo a rychlost větru značně snížena. Díky čemuž dochází k zmírnění kolísání teplot a vlhkosti a současně jsou zmírněny i teplotní extrémů oproti otevřeným stanovištím. Lesní mikroklima často totiž tlumí maximální teploty pod zápojem (den/léto), zvyšuje minimální teploty (noc/zima) a mimo jiné snižuje i sezónní a meziroční

variabilitu. Gradient lesních mikroklimat také podléhá velké variabilitě, kdy se může značně lišit mezi okrajem a jádrem lesa podle Schmidt et al. (2017).

Nejvyšší teploty v rámci této práce byly celkově naměřeny na holé seči a přirozené obnově. Vůbec nejvyšší teplota byla zaznamenána na holé seči, a to 26 °C (k 15.7. 2023) teploměrem, který se nachází ve výšce  $\pm 130$  cm. Díky provedeným měřením můžeme říct, že lokalita holá seč, která představuje nejnižší míru stínění dospělým porostem, skutečně současně nabývá nejvyšších teplotních hodnot. I v rámci prací autorů Chojnacka-Ožga et al. (2019) a Radler et al. (2010) bylo pozorováno, že na holosečných typech obnovy lesa dochází k navýšení teplot spolu s velmi heterogenně distribuovaným slunečním zářením, které je na holé seči 5–11 krát vyšší než uvnitř lesa. Současně s tím bylo zaznamenáno, že maximální teplota vzduchu na holé seči byla až o 2,5 °C vyšší než uvnitř lesa a i teplota půdy (v hloubce 10 cm) dosahovala vyšších hodnot, a to až o 6 °C v určitých částech porostu (Chojnacka-Ožga et al., 2019; Radler et al., 2010). I naše měření ukazuje, že teplota zaznamenaná na holé seči více než metr nad zemí byla oproti lokalitě clonná seč vyšší o přibližně 2 °C a to po celou dobu měření, tedy od konce května do konce srpna. I studie autorů Hashimoto and Suzuki (2004) ukazuje, že se zvýšila průměrná teplota půdy na holé seči a to asi o 2,2 °C v hloubce 0,5 m a celkově mírně vzrostly minimální teploty ( $< 1$  °C). Vyšší teploty můžeme také pozorovat na přirozené obnově, jež má velmi rozvolněné vrchní patro porostu. Dle předpokladu měla tato lokalita přirozené obnovy střední míru stínění, vzhledem k naměřeným teplotám na tomto stanovišti lze uvažovat o tom, že je tato lokalita spíše podobná holé seči nežli seči skupinové a násečné, které také představují střední míru stínění. Tato úvaha může být podpořena i tím, že některé stanovené biofyzikální parametry např. QY<sub>max</sub>, obsah fenolických látek nebo LMA na přirozené obnově vykazovaly podobné trendy jako hodnoty naměřené na holé seči. U zbylých výzkumných lokalit byly teploty relativně srovnatelné. Například rozdíl v teplotách měřených v 130 cm činil maximálně 1 °C mezi těmito stanovišti. Na konci sledovaného období (28. 8. 2023) se zde teploty pohybovaly okolo 20 °C. To je opět v souladu s pracemi Davis et al. (2019) nebo De Frenne et al. (2019) kde tito autoři dochází k závěrům, že lesní porosty tlumí klimatické extrémny a podporují stálost mikroklimat. Pravděpodobně z toho důvodu můžeme na clonné, skupinové a násečné seči pozorovat nižší teploty, jelikož zde mlaziny jedlí rostou zcela nebo alespoň částečně pod dospělým porostem. Dospělý porost napomáhá odpařováním a emisí dlouhovlnného infračerveného záření k ochlazení povrchu vegetace v zápoji i půdě (De

Frenne et al., 2013) a současně míra evapotranspiračního chlazení je ovlivňována i dostupností vody a vlhkostí vzduchu. Všechny tyto faktory komplexním způsobem ovlivňují snižování maximálních teplot v porostu (Davis et al., 2019; McLaughlin et al., 2017), díky čemuž je na stíněných lokalitách nižší teplota než na holé seči, která nedisponuje dospělým porostem. To velmi úzce souvisí i půdní vlhkostí na výzkumných lokalitách. Kdy v rámci půdy existuje mnoho různých chemických, fyzikálních a biologických parametrů, které ovlivňují její kvalitu. Nicméně zejména v suchých oblastech a v lesích, které rostou na mělkých půdách, může být právě obsah vody nejzásadnějším parametrem v kvalitě půdy (Kobal et al., 2015; Vilhar et al., 2005). I v této práci byla uvažovaná půdní vlhkost (měřeno v  $\pm 6$  cm pod povrchem), kdy bylo pozorováno, že dochází mezi jednotlivými lokalitami, a i uvnitř lokalit k značné variabilitě. Nejvyšší objemová půdní vlhkost byla naměřena na holé seči, která disponuje i nejvyššími teplotami. Následovala ji lokalita přirozené obnovy, která taktéž dosahovala vysokých teplot na stanovišti. Tato skutečnost by mohla být způsobená tím, že na těchto lokalitách není vůbec (holá seč) anebo je jen částečný dospělý porost (částečně přirozená obnova, skupinová a násečná seč), který by výrazně přijímal vodu z půdy a transpiroval (De Frenne et al., 2013). Z tohoto důvodu se pravděpodobně zvyšuje zamokření stanoviště s menším zastoupením dospělého porostu. Kdy často hladina spodní vody vystoupí až k půdnímu povrchu. Něco velmi podobného bylo pozorováno v rámci práci He et al. (2013) kde došlo u stromů k přerušení transportu vody tzv. girdling. To vedlo ke změnám v půdní vlhkosti, kdy pod takto narušeným zápojem byla půdní vlhkost vyšší, kvůli snížené evapotranspiraci než pod nenarušeným zápojem. Samozřejmě se tento trend může i na rozsáhlých holosečích obrátit, což bylo pozorováno v práci Chojnacka-Ožga and Ožga (2020), kdy vlivem extrémně vysokých teplot došlo k nedostatku vlhkosti. Ovšem během našeho měření k extrémním podmínkám nedošlo, a tak lze předpokládat, že vyšší půdní vlhkost je způsobena absencí dospělého porostu. Něco podobného lze pozorovat i na naměřených vlhkostech na násečné seči, kde dochází k velké variabilitě uvnitř stanoviště, což je opět pravděpodobně ovlivněno dosahem kořenů okolního dospělého porostu (Grossiord et al., 2014).

Díky těmto naměřeným mikroklimatickým podmínkám můžeme vidět, že jednotlivé typy lesní obnovy formují nejen světelné mikroklimatické podmínky, ale rovněž i teplotní podmínky uvnitř porostu i v půdě. Tato skutečnost úzce souvisí s přítomností dospělého porostu, který svou evapotranspirací ovlivňuje vodní režim stanoviště.



V souvislosti s námi naměřenými hodnotami můžeme říct, že v předchozím roce 2023 nedošlo k žádným extrémním podmínkám (zejména teplotním). Nicméně se i přes to zdá, že holá seč není zcela ideální obnovný prvek pro jedle bělokorou, a to z důvodu vysoké ozáření a vyššímu riziku zamokření stanoviště, které byly na tomto typu obnovy pozorovány. Mimo jiné byl vliv mikroklimatických světelných podmínek na růst a morfologii pozorován i u mlaziny smrku ztepilého v práci Bednář et al. (2022).

## 5.2 Fluorescenční parametr QYmax

Hodnocený fluorescenční parametr v rámci této práce (QYmax) shodně odpovídá s výsledky práce Robakowski and Wyka (2004). Tito autoři ve své práci dospěli k závěru, že hodnota QYmax je u jedle bělokoré variabilní v průběhu vegetační sezóny a rovněž v závislosti na různém světelném mikroklimatu stanoviště, čemuž odpovídají i námi provedená měření. Nejnižších naměřených hodnot v rámci jarního odběru bylo dosaženo na výzkumné lokalitě holá seč, což odpovídá našemu předpokladu, že tento typ obnovy představuje pravděpodobnou nejnižší míru stínění dospělým porostem, a tudíž zde dochází k největší světelné propustnosti. Podobně je na tom i přirozená obnova, která rovněž vykazuje snížené hodnoty QYmax. To je pravděpodobně způsobeno tím, že i přes námi předpokládanou střední míru stínění na tomto stanovišti jsou jedle bělokoré vystavovány zřejmě vyšší světelné propustnosti, a tudíž vykazují podobné trendy jako jedle na holé seči. U zbylých lokalit byl pozorován již nárůst maximálního kvantového výtěžku fotosystému II, protože tyto zbylé výzkumné lokality představují stanoviště s pravděpodobnou střední a nejvyšší mírou stínění, což je opět v souladu s prací Robakowski and Wyka (2004). Tito autoři ve své práci uvádějí, že došlo ke snížení hodnoty QYmax až o 24 % v jarních měsících pod zápojem modřínu (zápoj se světelnou propustností až 40 %) a o 15 % v jarních měsících pod zápojem smrku (zápoj se světelnou propustností 18 %).

Mimo jiné byla pozorována i ona sezónní variabilita. Právě na začátku vegetační sezóny hodnoty QYmax nabývaly různých hodnot, tj. od 0,66 do 0,83 v rámci všech výzkumných lokalit (obr. 18). Nicméně se tento trend v průběhu roku ustanovil na relativně stejné hladině, a to okolo 0,83 (obr. 19). I k tomuto dospěli autoři práce Robakowski and Wyka (2004), kteří zjistili, že porosty jedle v období od července do října dosahují teoreticky optimálních hodnot QYmax. Tyto teoreticky optimální hodnoty maximálního kvantového výtěžku fotosystému II se

pohybují okolo 0,83, což je mimo jiné i známka dobrého fyziologického stavu rostlin, jak ve svých pracích uvádějí například Björkman and Demmig (1987) nebo Maxwell and Johnson (2000). Díky tomu lze tedy říct, že i přes to, že se jedle bělokorá řadí mezi stínomilnější druhy, tak na stanovištích s vyšší světelnou propustností dlouhodobě netrpí fotoinhibicí a dosahuje optimálních hodnot  $QY_{max}$ . To dokládá i studie Robakowski et al. (2022) kde dospěli k závěru, že jedle bělokorá si poradí s podmínkami plného ozáření, ovšem tehdy, pokud nepůsobí další abiotické extrémní podmínky. Tento fakt potvrzují i výsledky této diplomové práce, kdy mlaziny jedlí nevykazují ani na jedné z výzkumných lokalit výrazně sníženou hodnotu  $QY_{max}$  a jsou tedy v dobrém fyziologickém stavu, a to i na lokalitě holá seč (nejnižší míra stínění). K tomu závěru dospěli rovněž i autoři práce Dörken and Lepetit (2018), kteří pozorovali rovněž u jedle bělokoré, že i když byla vystavena po delší dobu vysoké intenzitě světla, tak stále vykazovala optimálních hodnot  $QY_{max}$ , a to konkrétně 0,8.

Měřený parametr  $QY_{max}$  se ukázal jako vhodný indikátor pro posuzování stavu jedlí, přičemž současně jde o rychlé *in-situ* měření, které je z hlediska praxe vhodné v případě mladších nebo nižších stromů a lze tak měřit bez odběru vzorků. Kromě toho lze získat mimo maximálního kvantového výtěžku PSII i mnoho dalších kvantitativních parametrů (Strasser et al., 2000), ty ovšem v této práci nebyly hodnoceny.

### **5.3 Obsah chlorofyl ( $a+b$ ) a karotenoidů v jehlicích**

V této podkapitole budou diskutovány nejdříve výsledky, kterých bylo dosaženo za pomoci biochemických analýz, které jsou podrobněji popsány v podkapitole 3.7.1. Nejprve budou představeny výsledky jednotlivých naměřených hladin celkového chlorofylu a celkových karotenoidů a posléze budou představeny získané výsledky poměrů jednotlivých fotosyntetických pigmentů. Následně budou představeny výsledky měření obsahu chlorofylu pomocí fluorescenčního poměru – CFR.

#### **5.3.1 Obsah chlorofylu a karotenoidů**

Obsah chlorofylu i celkových karotenoidů byl v této práci vztahován na jednotku plochy jehlice, stejně tak jako je tomu i v práci Lichtenthaler et al. (2007). Autoři této práce uvažují vyjma jedle bělokoré i další druhy stromů, a na základě jejich měření dospěli k dílčímu závěru, a to sice, že obsah celkového chlorofylu (Chl ( $a+b$ )) není průkazně rozdílný mezi slunnými

a stinnými jehlicemi jedle. Stejného výsledku v jejich práci bylo dosaženo i pro celkový obsah karotenoidů. Taktéž práce autorů Grassi and Bagnaresi (2001) uvádí, že obsah Chl ( $a+b$ ) u jedlí na stanovištích s různým světelným gradientem nedosahuje signifikantních rozdílů. Oproti tomu námi naměřené hodnoty obsahu pigmentů mezi jehlicemi jedle s různou světelnou expozicí průkazných rozdílů dosahují, a to na hladině ( $\alpha = 0,05$ ). Přičemž nižší obsah Chl ( $a+b$ ) byl zaznamenán na holé seči (předpokládaná nejnižší míra stínění) oproti zbylým lokalitám, které představují pravděpodobnou vyšší a střední míru stínění. Ovšem tyto výsledky nekorespondují s prací autorů Robakowski et al. (2004), kteří dospěli k závěru, že jehlice jedlí rostoucích pod zápojem modřínu (menší míra stínění) obsahují více celkového chlorofylu oproti jehlicím jedlí, které rostou pod zápojem smrku (větší míra stínění). Takovýto výsledků bylo dosaženo i pro celkový obsah karotenoidů. Ovšem je nutno říct, že autoři této práce pracovali s tříletými sazenicemi jedle bělokoré a námi naměřené hodnoty byly získány z jedinců jedle ve věku 10 až 15 let. Z tohoto důvodu lze uvažovat o tom, že jedle na holé seči mohou vykazovat vyšší riziko fotoinhibice, kvůli dlouhodobě přetrvávajícím podmínkám vysoké ozáření. Ke zvýšenému riziku fotoinhibice opravdu na holé seči dochází, ovšem pouze na začátku vegetační sezóny, což potvrzují i námi naměřené výsledky hodnot  $QY_{max}$  (příloha 6). Hodnota  $QY_{max}$  v rámci jarního odběru nepřesahuje průměrnou hodnotu 0,68. Přičemž tento parametr je získán díky měření rychlé kinetiky fluorescence chlorofylu, a to nám poskytuje relativně podrobné informace o struktuře a funkci fotosystému II. Do reakčních center fotosystému II je přenášena energie absorbovaných fotonů, a to díky pigmentům Chl  $a$  a Chl  $b$  (Loll et al., 2005). Proto je možné uvažovat o tom, že vlivem zvýšeného rizika fotoinhibice dochází k poškození PSII, a tím i k pravděpodobně nižšímu obsahu celkového chlorofylu v jehlicích na holé seči na začátku vegetační sezóny. Nicméně je nutno říct, že u jehličnatých stromů dochází k sezónní variabilitě fotosyntetické aktivity. Během zimy a přechodu ze zimy do jara bývá fotosyntetická kapacita snížena, což pozitivně koreluje i se snížením účinnosti PSII. Naopak v létě je maximální účinnost PSII vysoká (Santini et al., 2019; Yang et al., 2020; Zarter et al., 2006), proto námi pozorovaný snížený obsah chlorofylu na holé seči na jaře může být spíše způsoben sezónní variabilitou fotosyntetické aktivity nežli fotoinhibicí. To podporují i další naše výsledky, kdy v průběhu vegetační sezóny dochází k postupné aklimatizaci na dané světelné podmínky a k postupné akumulaci Chl ( $a+b$ ). Díky čemuž je pravděpodobně dosaženo i lepších výsledků při měření  $QY_{max}$ , které v létě dosáhly průměrných hodnot 0,82. Tato úvaha koresponduje s výsledky studie Robakowski et al. (2022),

kteří uvádějí, že u šesti různých proveniencí jedle bylo dosaženo zvýšení celkového chlorofylu i koncentrace karotenoidů u sazenic rostoucích při slabém ozáření (40 % plného ozáření). Oproti tomu pokles Chl ( $a+b$ ), Kar a vyšší fotochemický výkon odrážel aklimatizaci jehlic jedlí na vysoké ozáření (100 % plného ozáření), kdy právě fotosyntetické pigmenty hrají fotoprotektivní roli. Ke stejnému závěru dospěli i v rámci studie Dörken and Lepetit (2018), kde je zmíněno, že jehlice jedle bělokoré rostoucí na slunci obsahují nižší obsah Chl  $b$  a celkově nižší obsah Chl ( $a+b$ ) na plochu jehlice.

Co se naměřených hodnot celkových karotenoidů týká, tak jak již bylo zmíněno výše, autoři práce Lichtenthaler et al. (2007) nedospěli k průkazným rozdílům v obsahu celkových karotenoidů mezi jehlicemi exponovanými na slunci a jehlicemi ve stínu. Stejně tak i naše výsledky naznačují, že obsah Kar mezi jednotlivými výzkumnými lokalitami s různým typem obnovy se prokazatelně neliší, a to hlavně v rámci jarního odběru. U letního odběru dochází již k malým odlišnostem, a to sice, že lokalita představující střední míru stínění, konkrétně násečná seč, dosahuje signifikantně nejnižší obsah Kar a liší se tak od všech ostatních lokalit. Nicméně vyjma toho, lze u letního odběru pozorovat stejné trendy jako u jarního odběru. To znamená, že holá seč se nikterak neliší od clonné seče. Oproti tomu, taktéž již zmiňovaná studie Robakowski et al. (2004) uvádí, že bylo dosaženo vyššího obsahu Kar v jehlicích, které rostly pod zápojem modřínu, oproti jehlicím rostoucím pod zápojem smrku, ale tohoto bylo dosaženo jen při vztažení Kar ku ploše jehlic. Stejného výsledku bylo dosaženo i v práci Dörken and Lepetit (2018), kde byl taktéž pozorován větší obsah pigmentů xantofylového cyklu u slunných jehlic jedle. V případě vztažení Kar ku suché hmotnosti jehlice již tyto rozdíly pozorovány nebyly (Robakowski et al., 2004). V jiné studii Robakowski and Wyka (2003) bylo naopak dosaženo průkazných rozdílů mezi obsahem Kar vztažených k suché hmotnosti jehlic. Z těchto prací tedy vyplývá, že celkový obsah karotenoidů je v jehlicích jedle velmi variabilní v průběhu roku, což je způsobeno zejména díky jejich ochranné funkci fotosyntetického aparátu (Demmig et al., 1987; Kang et al., 2017).

### **5.3.2 Poměry fotosyntetických pigmentů**

Zastoupení fotosyntetických pigmentů Chl  $a$  a Chl  $b$  je u rostlin rozdílné, což naznačují i námi naměřené výsledky, kdy na všech výzkumných lokalitách dochází k vyšší koncentraci Chl  $a$  a nižší koncentraci Chl  $b$ , což potvrzují např. práce autorů Grassi and Bagnaresi (2001),

Lichtenthaler et al. (2007) nebo Dörken and Lepetit (2018). Současně tyto práce pojednávají i o rozdílném obsahu celkových karotenoidů ku celkovému chlorofylu během působení stresových podmínek. V obou pracích Dörken and Lepetit (2018) a Lichtenthaler et al. (2007) je shodně uvedeno, že celkový obsah karotenoidů ku celkovému obsahu chlorofylu je vyšší v jehlicích jedlí, které rostou na lokalitách s vyšší ozářeností oproti lokalitám s nižším ozářením, a tyto výsledky dosahují signifikantních rozdílů. K takovýmto výsledkům jsme v rámci této práce dospěli také, a to v jarním odběru vzorků, jelikož na výzkumné lokalitě holá seč dosahovaly jehlice průkazně vyšších hodnot v poměru Kar ku Chl ( $a+b$ ) oproti lokalitě clonná seč. Zbylé lokality, které představují pravděpodobnou střední míru stínění nejsou od těchto lokalit průkazně odlišné, až na výzkumnou lokalitu násečná seč. Na této seči dosahují jehlice podobného obsahu Kar ku Chl ( $a+b$ ) jako na clonné seči, což může být způsobeno podobnými mikroklimatickými podmínkami během odběru vzorků. Celkový obsah karotenoidů v jehlicích jedle lze vnímat jako nespecifický indikátor stresu, a to z toho důvodu, jelikož se podílejí na zhášení volných kyslíkových radikálů, které vznikají při působení mnohých stresových faktorů (Uarrotta et al., 2018). V souvislosti s tímto je možné, že námi naměřené hodnoty poměru Kar ku Chl ( $a+b$ ) na jehlicích odebraných v létě nemusejí být nutně způsobeny pouze rozdílným světelným mikroklimatem, ale i případně jinými stresovými faktory.

### **5.3.3 Obsah chlorofylu – CFR**

Již práce Rinderle and Lichtenthaler (1988) se zabývala fluorescenčními emisními spektry chlorofylu, kdy bylo pozorováno, že hodnoty poměru fluorescence ve vlnových délkách 690 a 735 nm stoupají s klesajícím obsahem chlorofylu v listové rostlině. Z toho důvodu bylo uvažováno, že vliv stresových faktorů na rostliny vede k nižšímu obsahu chlorofylu a nižší rychlosti fotosyntézy, a proto lze poměr vlnových délek 690 a 735 nm považovat za indikátory stresu. Taktéž práce Lichtenthaler et al. (1990) nebo Buschmann (2007) uvádějí, že hodnoty CFR mohou být vhodnou metodou pro sledování změn obsahu chlorofylu v průběhu vývoje rostlin a s tím i spjatými procesy. Například lze hodnoty CFR použít pro hodnocení změn fotosyntetického aparátu nebo pro vyhodnocování fyziologického stavu rostlin.

V rámci této diplomové práce byl tento parametr, celkový obsah chlorofylu (CFR) změřen jako poměr fluorescence chlorofylu emitovaného ve vlnových délkách 735 nm a 700 nm podle Gitelson et al. (1999). V práci Gitelson et al. (1999) byla hodnota CFR stanovována na buku,

jilmu a přísavníku, a vztažena pomocí lineární regrese  $R^2 = 0,95$  k biochemicky stanovenému obsahu chlorofylu v listech. Nicméně všechny uvažované stromy byly listnaté, a vnitřní struktura jehlice může ovlivňovat průchod záření pletivy včetně zpětné emise fluorescence. Na základě výzkumu školitelského týmu Lhotáková et al. (2024) se ukázalo, že vztah mezi CFR a biochemicky stanoveným obsahem chlorofylu pro listnaté a jehličnaté stromy není univerzální, a i koeficient determinace lineárního vztahu CFR a obsahu chlorofylu se pro jehličnaté stromy může značně lišit. Ostatně námi sestavený lineární model pro vztah měření CFR a laboratorně stanoveného obsahu chlorofylu u jedle dosáhlo  $R^2 = 0,67$ , což není až tak dobrý výsledek a bez další kalibrace lze hodnoty CFR použít jako velmi hrubý odhadu obsahu chlorofylu. Nicméně pokud se podíváme na krabicové grafy, a to vytvořené jak pro CFR (obr. 20 a 21), tak pro Chl ( $a+b$ ) (obr. 22 a 23) můžeme pozorovat relativní podobnosti. Například Chl ( $a+b$ ) v jarním odběru dosáhl nejnižších hodnot na holé seči, a to okolo  $72 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Stejného výsledku bylo dosaženo i v CFR, kdy opět lokalita holá seč má tuto hodnotu nejnižší, přibližně 1,1. Pokud se potom podíváme na kalibrační křivku CFR (obr. 22) můžeme vidět, že hodnotě CFR 1,1 odpovídá hodnota Chl ( $a+b$ ) přibližně  $60 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Stejně tak můžeme i u odběru provedeného v létě pozorovat podobnosti. Opět jsou nejnižší hodnoty Chl ( $a+b$ ) naměřeny na holé seči a stejně tak i CFR. Ovšem na zbylých lokalitách již dochází k větším odlišnostem, a to sice, že hodnoty CFR nejsou již tak citlivé pro odhad obsahu chlorofylu. Mezi naměřenými hodnotami nejsou sledovány žádné signifikantní rozdíly a hodnoty CFR se pohybují okolo 1,5 pro druhý ročník jehlic. Nicméně biochemické stanovení celkového chlorofylu mezi těmito lokalitami signifikantní rozdíly odhalilo a například nejvyšší naměřený obsah Chl ( $a+b$ ) byl na přirozené obnově. Pokud se opět podíváme na kalibrační křivku, můžeme vidět, že hodnota 1,5 CFR by měla odpovídat přibližně  $170 \text{ ug.cm}^{-2}$ , ale tato lokalita dosáhla obsahu celkového chlorofylu na hladině okolo  $190 \text{ ug.cm}^{-2}$ . Z toho vyplývá, že metoda měření chlorofylu jako poměru fluorescence chlorofylu emitovaného ve vlnových délkách 735 nm a 700 nm (CFR) není pro jehličnaté stromy až tak citlivá, ale i tak nám může poskytnout cenné informace o přibližném obsahu chlorofylu v listové rostlin, a to neinvazivní a poměrně rychlou cestou. Na tom se shodují i další práce Eullaffroy and Vernet (2003), Pedrós et al. (2008), Torres et al. (2021) a Zhuang et al. (2020), které pojednávají o tom, že CFR lze využívat jako indikátor stresových podmínek (např. suchem) v souvislosti s úzkou vazbou na fotosyntézu, což může být využíváno mimo jiné pro terénní monitorování stavu vegetace. Přičemž na základě těchto úvah můžeme říct, že stromy na lokalitě představované holou sečí

vykazují zhoršený fyziologický stav, jelikož zde došlo k naměření nejnižších hodnot CFR. Ostatní lokality mají již hladiny CFR relativně podobné, a to jak na lokalitách představovaných střední mírou stínění, tak na lokalitě představovanou nejvyšší mírou stínění.

Stejně jako QYmax tak i obsah chlorofylu a karotenoidů se zdají být dobrými indikátory pro hodnocení fyziologického stavu mlazin jedlí. Nicméně oproti měření QYmax je biochemické stanovení obsahu fotosyntetických pigmentů časově náročnější, a to kvůli nutnosti odběru vzorků a laboratorním analýzám. Oproti tomu využití příručního fluometru (hodnoty CFR) pro odhad obsahu chlorofylu v jehlicích je rychlé a lze provádět přímo v terénu, ovšem pro jehličnany představuje pouze hrubý odhad v obsahu chlorofylu oproti biochemickému stanovení, které je přesnější.

## **5.5 Rozpustné fenolické látky v jehlicích**

Fenolické látky zastávají v rostlinách mnoho funkcí. Některé působí jakožto obrana proti biotickému stresu, jiné zase jako obrana proti abiotickému stresu. Fenolické látky mají mimo jiné antioxidační vlastnosti, které chrání buněčné struktury před reakcemi volných radikálů (ROS) anebo absorbují světlo v ultrafialové oblasti elektromagnetického záření, a působí tak jako ochrana před UV nebo velmi intenzivním slunečním zářením Marchiosi et al. (2020). Námi naměřené hodnoty fenolických látek odpovídají skutečnosti, že se hromadí při působení vyšší ozáření, jelikož bylo pozorováno, že na lokalitách představované střední a nejnižší mírou stínění dospělým porostem dochází k jejich akumulaci. Oproti tomu na lokalitě, která představuje nejvyšší míru stínění dospělým porostem byla koncentrace fenolů nižší, a to jak pro jarní, tak i letní odběr. Rovněž práce Formato et al. (2022), Izaguirre et al. (2007), Kotilainen et al. (2010) a Tegelberg et al. (2004) uvádějí, že dochází k akumulaci fenolických látek v rostlinách během působení vyšší ozáření, což opět potvrzuje i námi získané výsledky. Tento trend odpovídá i výsledkům práce Brzezinska and Kozłowska (2008), která byla provedena na jehličnatých stromech (tis, zerav a jalovec). V této práci bylo pozorováno, že kumulace fenolických látek je variabilní v závislosti na různých světelných podmínkách. Konkrétně u tis, který se řadí mezi spíše stínomilné rostliny, podobně jako jedle, bylo pozorováno, že dochází v jehlicích k akumulaci fenolů při vyšší ozáření stanoviště. Taktéž bylo pozorováno, že s přibývajícím věkem jehlic, které se již na dané podmínky adaptovaly dochází k menší akumulaci těchto fenolických látek. Tato skutečnost v rámci našeho měření

nebyla zcela potvrzena, protože u letního odběru bylo naměřeno více fenolických látek u druhých ročníků jehlic. V další práci Formato et al. (2022) zabývající se fenolickými látkami, a to konkrétně u buku bylo pozorováno, že dochází k sezónní variabilitě v obsahu fenolických látek. Od polovina dubna do konce května byl pozorován pokles celkového obsahu fenolických látek v listech buku a v letních měsících pak obsah fenolických látek zůstal stálý. Takovéto trendy v rámci naší práce nebyly pozorovány, a tuto skutečnost lze přisuzovat tomu, že jehličnaté stromy se v mnohém liší od listnatých. U listnatých stromů může být sezónní pokles v obsahu fenolických látek způsoben ztrátami listů vždy na konci vegetační sezóny, a proto je možné uvažovat, že se listnatým stromům nevyplatí tolik investovat do tvorby fenolických látek. Oproti tomu jehličí na jehličnatých stromech přetrvává i několik vegetačních sezón, což může vést k vyšší investici do obsahu fenolických látek v jehlicích, za účelem obrany proti různým stresorům (Huang et al., 2020; Nybakken et al., 2018). To opět pozitivně koreluje s našimi již zmiňovanými výsledky výše, kdy druhé ročníky jehlic obsahují více fenolických látek, což potvrzuje i studie na smrku Lhotáková et al. (2021).

Obsah rozpustných fenolických látek bych nepovažovala za vhodný indikátor fyziologického stavu, jelikož jsou často v rostlinách hromaděny právě jako ochrana proti různým stresovým faktorům (Nybakken et al., 2018) a tudíž jsou málo specifické pro konkrétní stresový faktor. Mimo jiné je jejich biochemické stanovení taktéž časově náročné podobně jako biochemické stanovení fotosyntetických pigmentů.

## **5.6 Specifická listová hmotnost a obsah vody v listech**

Specifická listová hmotnost (LMA) se často využívá jako ukazatel různé struktury listu, respektive jehlic, jež závisí na druhu rostliny, světelných podmínkách prostředí a na délce života listoví (Reich et al., 1998). Spolu s obsahem vody v listech (EWT) jsou to jedny z dalších parametrů, které nám mohou pomoci v hodnocení fyziologického stavu rostlin.

Námi naměřené hodnoty pro specifickou listovou hmotnost ukazují, že větších hodnot LMA nabývají jehlice, které jsou na lokalitách s vyšší ozářeností, a to jak na lokalitách představující pravděpodobnou střední míru stínění, tak na lokalitě, která představuje nejnižší míru stínění. K tomuto trendu dochází jak u jehlic odebraných na jaře, tak i v létě. Ke stejným výsledkům dospěli i autoři práce Robakowski et al. (2022), kteří rovněž pozorovali nárůst specifické listové hmotnosti u jehlic rostoucích pod plným ozářením oproti jehlicím rostoucím v slabém ozáření.



Tyto výsledky jsou i v souladu s dalšími pracemi těchto autorů, Robakowski et al. (2004, 2003), jež byly získány z kontrolovaných experimentů i z experimentů provedených v lesních porostech. Specifická listová hmotnost se tak typicky zvyšuje působením vyšší radiace, a to v důsledku větší tloušťky a hustoty pletiv v jehlicích (Witkowski and Lamont, 1991). Obecně je také LMA vyšší u jehličnatých stromů oproti jiným funkčním skupinám rostlin a zvyšuje se s věkem jehlic (Lhotáková et al., 2021; Robakowski and Bieliniš, 2017). Zvýšení specifické listové hmotnosti v souvislosti s narůstajícím věkem jehlic bylo v této práci rovněž pozorováno. Ke zvyšování LMA došlo mezi prvními a druhými ročníky jehlic na čtyřech výzkumných lokalitách, a to na přirozené obnově, skupinové, násečné a holé seči, a to s průkazným rozdílem. Na lokalitě clonná seč nebyl tento trend vyhodnocen jako průkazný, což může mít pravděpodobně souvislost se světelnými podmínkami tohoto stanoviště, jež představuje pravděpodobně nejvyšší míru stínění a tedy nejmenší rozdíl v ozáření mezi nejmladšími a staršími jehlicemi. Další práce, která se zabývala hodnocením fyziologické plasticity jedle bělokoré v různém světelném gradientu je Grassi and Bagnaresi (2001). Autoři této práce taktéž potvrzují naše výsledky, protože i oni dospěli k závěru, že specifická listová hmotnost u jedle pozitivně koreluje s mírou ozáření.

Obsah vody v listech (EWT) měřen jakožto hmotnost vody na jednotku plochy listu, respektive jehlice dosahovala hodnot od 0,019 do 0,031 g.cm<sup>-2</sup> a to v rámci obou provedených odběrů. Podobné měření hodnot EWT bylo provedeno i v práci Junttila et al. (2017), kde bylo měřeno pět druhů stromů včetně dvou jehličnanů a to konkrétně smrk ztepilý a borovice lesní. U smrku ztepilého dosahovaly hodnoty EWT v průměru 0,036 g.cm<sup>-2</sup> u borovice byla průměrná hodnota EWT o něco nižší a to 0,033 g.cm<sup>-2</sup>, což relativně odpovídá i našim naměřeným výsledkům. Kromě toho práce Schneider et al. (2017) zmiňuje, že jehličnaté stromy vyskytující se zejména v nižších nadmořských výškách mají vyšší EWT a nižší relativní obsah chlorofylu a karotenoidů. Nicméně již zmiňovaná práce Junttila et al. (2017) se zabývala testováním vhodnosti použití dvou intenzit zpětného rozptylu laseru TLS (z angl. terrestrial laser scanners neboli pozemní laserové skenery), které se měří při vlnové délce 690 a 1550 nm pro odhad EWT jehlic. Přičemž výsledky této práce ukázaly, že EWT u jehličnatých stromů lze odhadnout s relativně vysokou přesností za pomoci laserových spektrálních indexů. Díky tomu má tato metoda vysoký potenciál při hodnocení ekofyziologického stavu vegetace, a to zejména při hodnocení lesních ekosystémů nebo mapování jednotlivých stromů. Tato měření lze současně využít pro

hodnocení vlivů působených změnami klimatu na lesní ekosystémy při dálkovém průzkumu Země (Junttila et al., 2017). Hodnoty EWT jsou tak důležité ukazatele pro reakci rostlin na sucho, které by mohlo snižovat fyziologický výkon rostlin prostřednictvím snížené fotosyntetické asimilace uhlíku (Lawlor and Cornic, 2002). V souvislosti s tímto lze uvažovat EWT jako vhodný indikátor pro posuzování stavu listoví.

Měřené parametry LMA a EWT se taktéž zdají být jako vhodné indikátory fyziologického stavu (Junttila et al., 2017; Lhotáková et al., 2021), přičemž oba dva tyto parametry jsou poměrně rychle stanovitelné a mají vysoký potenciál pro hodnocení lesních ekosystémů v dálkovém průzkumu Země.

## 5.7 Odrazivost listoví

Spektrálními vlastnosti listoví vegetace se zabývají autoři jako Dobrota et al. (2015), Gates et al. (1965), Hovi et al. (2017) nebo Rautiainen et al. (2018) a právě odrazivost listoví vegetace závisí mimo jiné na obsahu různých látek v rostlině, jako je obsah chlorofylu, buněčná struktura listu nebo obsah vody (Jensen, 2014). V naší práci bylo měřeno spektrální chování vegetace pomocí spektrometru a kontaktní sondy, kdy tato měření dala vznik spektrálním křivkám odrazivosti, a to pro jarní a letní odběr, přičemž u letního odběru jsou uvažovány dva ročníky jehlic. Autoři prací Lukeš et al. (2013) a Roberts et al. (2004) u jehličnatých stromů pozorovali, že jehlice mají menší propustnost než bifaciální listy, a tak dochází k větší absorpci záření, což se může projevit na nižším procentuálním zastoupení odrazivosti.

V rámci této práce jsou od sebe jednotlivé výzkumné lokality podle odrazivosti v celém měřeném spektrálním rozsahu (350–2500 nm) relativně rozpoznatelné. Ve viditelné oblasti záření, kde je energie potřebná pro fotosyntézu (Gates et al., 1965) nabývá nejvyšších hodnot odrazivosti holá seč, což může být pravděpodobně způsobené tím, že stromy na této lokalitě mají menší obsah chlorofylu v jehlicích (Lichtenthaler, 1987), což ostatně potvrzují i provedená biofyzikální měření (viz obr. 23–28). Současně Cho et al. (2008) pojednává o tom, že obsah chlorofylu v listoví způsobuje rozšíření nebo zmenšení absorpčního pásma v blízké infračervené oblasti spektra (NIR) a tím i posun REIP. Větší obsah Chl ( $a+b$ ) vede k posunu REIP do delších vlnových délek a nižší obsah chlorofylu způsobuje posun REIP do nižších vlnových délek. Toto opět pozitivně koreluje s našimi výsledky, kdy pozice REIP byly na holé seči v letním

odběru nejnižší, ovšem nutno podotknout, že tyto rozdíly byly pozorované až v rámci tisícín a desetitísícín, viz příloha 17–19. Podle Albrechtová et al. (2017) posun REIP do nižších vlnových délek může signalizovat špatný fyziologický stav, stresové podmínky nebo konec vegetační sezóny. V rámci všech našich výsledků může být pozice REIP na holé seči pravděpodobně způsobena stresovými faktory, uvažují zejména vyšší ozáření spolu s vyšší teplotou na stanovišti. Nicméně zhoršený fyziologický stav vegetace na této lokalitě není prokazatelný, a to kvůli hodnotám QY<sub>max</sub>, které jsou srovnatelné mezi všemi lokalitami a dosahují vysokých hodnot. V blízké infračervené oblasti spektra můžeme pozorovat nejvyšší naměřené hodnoty odrazivosti na clonné seči. Stromy na této lokalitě jsou nejvíce stíněny dospělým porostem a v souvislosti s tím mohou vykazovat typické znaky pro stinné jehlice, jako např. méně palisádového parenchymu nebo mechanických pletiv (Dörken and Lepetit, 2018). Taktéž práce Robakowski et al. (2004) uvádí, že se značně mění struktura listoví v závislosti na různém ozáření. Bylo pozorováno, že jehlice rostoucí pod modřínovým porostem (vyšší ozáření) jsou v průměru až o 20 % silnější než jehlice rostoucí pod smrkovým porostem (nižší ozáření). Obecně tak spektrální vlastnosti listoví v NIR závisejí na vnitřní struktuře listu, jak ve své práci uvádí Castro and Sanchez-Azofeifa (2008). Proto je možné uvažovat o tom, že jehlice na clonné seči mohou vykazovat typické znaky stinných listů, respektive jehlic, a proto dochází v této oblasti spektra k nejvyšší odrazivosti. Poslední sledovanou oblastí spektra v rámci odrazivosti listoví je SWIR. Autor práce Rautiainen et al. (2018) ve své práci zmiňuje, že se tato oblast vyznačuje silnou absorpcí vody a současně potlačuje absorpční vlastnosti ostatních složek listu jako např. ligninu nebo celulózy. Další autoři Lhotáková et al. (2012) a Niinemets et al. (2007) uvádějí, že stejně tak je tato oblast ovlivňována vnitřní strukturou listoví a vnějšími povrchovými vlastnosti. Námi naměřené výsledky v této oblasti spektra nevykazují velkých rozdílů mezi jednotlivými lokalitami v rámci letního odběru. Ovšem u jarního odběru, lze vidět, že nejvyšší hodnoty odrazivosti v SWIR jsou dosaženy na clonné seči, což podle práce Jensen (2014) vypovídá o nižším obsahu vody v listech. Opravdu jsme k takovému výsledku v rámci biochemických analýz dospěli, kdy hodnoty EWT na clonné seči jsou nejnižší. V neposlední řadě je potřeba zmínit, že odrazivost se značně mění s věkem jehlic, jak uvádějí ve svých pracích autoři Atherton et al. (2017), Hovi et al. (2017), Lhotáková et al. (2021) nebo O'Neill et al. (2002). Tento trend byl taktéž pozorován v rámci této práce, kdy jehlice druhého ročníku dosahovaly nižších hodnot odrazivosti než jehlice prvního ročníku. Podle výsledků práce Kirchgeßner et al. (2003) dochází

u starších jehlic k akumulaci karotenoidů. Taktéž dochází k hromadění fotosyntetických pigmentů, jak dokládají například práce Soukupová et al. (2001) a Warren (2006). V poslední řadě dochází i k akumulaci fenolických látek, což ve svých pracích popisují např. autoři Lhotáková et al. (2012) a Nybakken et al. (2018). Přičemž například akumulace karotenoidů nebo fenolických látek může sloužit jako obranný mechanismus proti napadení organismy. Naopak akumulace fotosyntetických pigmentů, může být u starších jehlic důležitá pro udržení účinnosti fotosyntézy v podmínkách s nižší ozářeností, jak ukazuje Robakowski and Bieliniš (2017). Toto opět pozitivně souvisí i s našimi výsledky, kdy bylo pozorováno, že většina námi stanovovaných biofyzikálních parametrů opravdu pozitivně koreluje s věkem jehlic, a tudíž i naměřené odrazivosti jsou mezi sebou odlišné.

Na základě naměřené odrazivosti jehlic se za pomoci vícerozměrné analýzy podařilo jednotlivé výzkumné lokality jedlových porostů s různým mikroklimatem od sebe odlišit o něco hůře než na základě provedených biofyzikálních parametrů. Ale i přes to, zde byly patrné trendy v rozdílu optických vlastností, které by bylo možné v budoucnu využívat pro rychlý monitoring stavu jedlových mlazin. Teoreticky lze uvažovat i o tom, že na otevřených stanovištích, např. holá seč, by bylo možné provádět snímání odrazivosti např. z dronů, ovšem na stanovištích stíněných dospělým porostem je tento přístup značně omezený.

## 5.8 Shrnutí a další možné směry výzkumu

Veškeré používané metody v této práci se pro hodnocení fyziologického stavu zdají být jako citlivé indikátory na různé světelné podmínky stanovišť, nicméně pouze s velkou spolehlivostí u krajních případů (tj. clonná a holá seč). Pro hodnocení rozdílů mezi jednotlivými stanovišti, které jsou představovány pravděpodobnou střední mírou stínění se toto hodnocení nezdá zcela jednoznačné. Vyjma toho například měření maximálního kvantového výtěžku fotosystému II poskytuje rychlé informace o obsahu fotosyntetických pigmentů, a to *in-situ*. Na základě čehož lze poměrně dobře a rychle hodnotit fyziologický stav mlazin. Oproti tomu biochemické analýzy obsahu fotosyntetických pigmentů nebo i fenolických látek, taktéž poskytují velmi přesné informace o jejich obsahu v listoví. Nicméně kvůli odběru vzorků a jejich následnému laboratornímu zpracování jsou tyto metody velmi časově náročné. V poslední řadě bych zde chtěla zmínit měření odrazivosti listoví, které rovněž poskytl relativně rychlé informace o spektrálních vlastnostech jehlic, a to nedestruktivní cestou. Proto je

tato metoda velmi perspektivní pro hodnocení fyziologického stavu nejenom mlazin jedlí, ale celých porostů, jelikož může být využívána v rámci dálkového průzkumu Země. Mimo jiné výsledky této práce mohou sloužit jako podklad pro vyhodnocení prosperity jedle na různých typech obnovy, s čímž je úzce spojen i význam pro lesní hospodářství. Samozřejmě v rámci hodnocení fyziologického stavu mlazin v lesních ekosystémech je vždy nutno uvažovat o souboru mnohých faktorů, které tento fyziologický stav mohou ovlivňovat. Dalo by se proto uvažovat i měření dalších parametrů, jako například přírůst kmene na větším vzorku stromů v rámci lokalit, tak abychom získaly lepší představu o tom, jak tyto stromy na dané lokalitě reagují na mikroklima a mění se podmínky, co se růstu týká. Přístup kontinuálního měření environmentálních podmínek a růstu stromů je využit např. v rozsáhlé síti v ČR, Denndronetwork (dostupné na <http://www.emsbrno.cz/p.axd/en/DendroNETWORK.DendroNET.html>, stav k 26. 4. 2024). Dalším rozšířením by mohla být například vlastní identifikace fenolických látek pro lepší představu o tom, jaké konkrétní fenolické látky mlaziny jedlí akumulují v souvislosti s různými abiotickými či biotickými stresy.

V neposlední řadě jsou výsledky této práce vstupní studií pro hlubší studium této problematiky v rámci grantového projektu Ministerstva zemědělství NAZV 2024–2027 QL24010275, pod názvem: Jedle bělokorá jako dřevina pro druhové přeměny lesních porostů ČR a vliv uplatnění obnovních sečí i interakci s podmínkami lesních stanovišť na její růst, vitalitu, odolnost vůči fytopatogenům a vývoj mykorhizních asociací. Kde je hlavním řešitelem Ing. et Ing., Mgr. Pavel Bednář, Ph.D. (VÚLHM). Tento projekt umožňuje studovat fyziologický stav mlazin jedle ve vztahu k dalším významným proměnným prostředí, jako je především stav půdních podmínek – pH, obsah minerálních živin, uhlíku v půdě, složení půdních mikroorganismů atd., a mimo jiné bude sledovaným faktorem i výskyt nejběžnějších škůdců jedle (rez vrbková (*Pucciniastrum epilobii* (Scholler et al., 2022) či korovnice jedlová *Dreyfusia piceae*), jejichž výskyt je často podmíněn mikro- a makroklimatickými podmínkami prostředí.

## 6 Závěry

### 6.1 Vyhodnocení cílů hypotéz

V této práci jsme si položili tři hlavní cíle, se kterými jsou úzce spojeny i jednotlivé hypotézy. Výsledky testování hypotéz a splněných cílů jsou postupně představeny níže.

Prvním cílem práce bylo vyhodnotit fyziologický stav mlazin jedlí v závislosti na předpokládaném různém světelném mikroklimatu lokalit. V tomto smyslu lze říct, že studovaní jedinci nevykazovali ani na jedné z výzkumných lokalit výrazně zhoršený fyziologický stav. Mlaziny na holé seči častěji vykazovaly rozdílné trendy v různých fyziologických parametrech, nicméně tyto naměřené hodnoty nikterak nevypovídají o zhoršeném fyziologickém stavu. S tím se pojí i první hypotéza (H1) této práce, která zní následovně:

**H1:** „*V rámci výzkumných lokalit budou jedinci jedle bělokoré hůře prosperovat na stanovištích s nižší mírou stínění (tj. zejména holá seč).*“

Tuto hypotézu na základě našeho měření nelze zcela potvrdit, jelikož i přes rozdílné hodnoty např. v obsahu chlorofylu nebo poměru celkových karotenoidů ku celkovému chlorofylu byly u jedlí rostoucích na holé seči, v letním odběru, naměřeny takové hodnoty QY<sub>max</sub>, které v literatuře odkazují na dobrý fyziologický stav a současně takových hodnot dosahovaly i jedinci na zbylých lokalitách.

Druhým cílem bylo posouzení citlivosti námi vybraných biofyzikálních a fyziologických parametrů jehlic v závislosti na předpokládaných rozdílných světelných podmínkách na výzkumných lokalitách. S tímto cílem je opět spjato hned několik hypotéz a to:

**H2:** „*Rozdíly v obsahu fotosyntetických pigmentů budou negativně korelovat s mírou ozáření v rámci gradientu ve světelném mikroklimatu.*“

**H3:** „*Rozdíly v obsahu rozpustných fenolických látek budou pozitivně korelovat s mírou ozáření v rámci gradientu ve světelném mikroklimatu.*“

**H4:** „*Rozdíl mezi stanovišti ve fotosyntetickém parametru QY<sub>max</sub> (maximální kvantový výtěžek PSII = PSII maximum quantum yield) stanoveném na základě fluorescence chlorofylu bude negativně korelovat s mírou ozáření v rámci gradientu ve světelném mikroklimatu.*“

**H5:** „Rozdíly ve specifické listové hmotnosti a obsahu vody budou pozitivně korelovat s mírou ozáření v rámci gradientu ve světelném mikroklimatu.“

V podstatě žádnou z těchto hypotéz nelze zcela jednoznačně potvrdit. **H2:** Na holé seči byla opravdu míra fotosyntetických pigmentů signifikantně nejnižší (Chl (a+b)), nicméně lokality představované střední mírou stínění vykazovaly srovnatelné trendy s clonnou sečí. **H3:** Opět velmi podobné předchozí situaci, a to sice, že u jedlí na clonné seči byly naměřeny nejnižší hodnoty fenolických látek ovšem zbylé lokality se od sebe již nikterak průkazně nelišily. **H4:** Podle předpokladu jedinci na lokalitě s nejnižší mírou stínění (holá seč) dosahovaly nejnižších hodnot QY<sub>max</sub>. Nicméně u ostatních lokalit již tak jednoznačné výsledky naměřeny nebyly a například clonná seč se průkazně od násečné seče nelišila. **H5:** Rozdíly v LMA a EWT také nejednoznačně odpovídají na míru ozáření. Nejnižší hodnoty obou těchto parametrů byly naměřeny na clonné seči, ovšem nebylo vždy zcela jednoznačně potvrzeno to, že by jedinci na holé seči dosahovaly hodnot nejvyšších. Z toho vyplývá, že tyto vybrané biofyzikální a fyziologické parametry na míru ozáření citlivé jsou, nicméně ne do té míry, že by se od sebe daly zcela jednoznačně odlišit lokality, které představují střední míru stínění. Tomu odpovídají i naše výsledky, kdy lze pozorovat onu citlivost jen v rámci krajních situací (tj. clonná a holá seč), ale nelze tuto citlivost pozorovat například mezi lokalitou přirozené obnovy a skupinové seče. Nicméně i přes to můžeme říct, že tyto biofyzikální a fyziologické parametry reagují na množství ozáření v souladu s našimi předpoklady. Bohužel se z časových a technických důvodů nepodařilo provést kvantifikace stínění na lokalitách, což znemožnilo testovat hypotézy pomocí regresních vztahů funkčních znaků jehlic a míry stínění.

Třetím a posledním cílem práce bylo porovnání optických vlastností jehlic, a to opět v závislosti na předpokládaných různých světelných podmínkách na výzkumných lokalitách. S čímž se pojí šestá hypotéza:

**H6:** „Laboratorně měřená odrazivost listoví umožní od sebe odlišit stanoviště v rámci předpokládaného gradientu ve světelném mikroklimatu.“

Tuto hypotézu potvrdit nelze. Byly sice opět pozorovány rozdíly ve spektrálních křivkách odrazivosti, nicméně nedá se na základě toho zcela jednoznačně určit jaká je míra světelných podmínek těchto lokalit.

## 6.2 Závěr

V rámci této práce byl hodnocen fyziologický stav mlazin jedle bělokoré na celkem pěti různých lokalitách, kdy jednotlivé lokality představovaly různou míru gradientu ozáření. Toto hodnocení bylo provedeno pomocí nesespecifických indikátorů stresu, které jsme uvažovali zejména maximální kvantový výtěžek fotosystému II (QY<sub>max</sub>), obsah fotosyntetických pigmentů, obsah rozpustných fenolických látek, specifickou listovou hmotnost (LMA), obsah vody vztažený na plochu jehlic (EWT) nebo též spektrální vlastnosti listoví (odrazivost). Na základě analýzy měření jsme dospěli k závěru, že jedle bělokorá opravdu lépe prospívá na stanovištích, kde je vysoká nebo i jen střední míra stínění dospělým porostem oproti lokalitám, kde k stínění nedochází (tj. holá seč). Nicméně i když je jedle bělokorá považovaná za spíše stínomilný druh, dokáže se s podmínkami plného ozáření vyrovnat a dosahovat velmi dobrého fyziologického stavu, jak naznačují i naše výsledky.

- Studovaní jedinci nevykazovali ani na jedné z výzkumných lokalit výrazně zhoršený fyziologický stav. Jen mlaziny na holé seči častěji vykazovaly rozdílné trendy v různých fyziologických parametrech, nicméně tyto naměřené hodnoty nikterak nevyovídají o zhoršeném fyziologickém stavu.
- Vybrané biofyzikální a fyziologické parametry na míru ozáření citlivé jsou, nicméně ne do té míry, že by se od sebe daly zcela jednoznačně odlišit lokality, které představují střední míru stínění.
- Odrazivost jehlic v rozsahu VIS-SWIR spektra vykazovala patrné trendy v rozdílu mezi lokalitami s různou mírou stínění, které by bylo možné v budoucnu využívat pro rychlý monitoring stavu jedlových mlazin.



## 7 Seznam použité literatury

- Ainsworth, E.A., Gillespie, K.M., (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. *Nature Protocols* 2, 875–877. <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>
- Ajigboye, O.O., Ray, R.V., Murchie, E.H., (2018). Chlorophyll Fluorescence on the Fast Timescale, in: Covshoff, S. (Ed.), *Photosynthesis: Methods and Protocols*, Methods in Molecular Biology. Springer, New York, NY, pp. 95–104. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7786-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7786-4_6)
- Albrechtová, J., Kupková, L., & Campbell, P. K. (2017). Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů: případové studie sledování vývoje stavu smrkových porostů v Krušných horách v letech 1998-2013. Česká geografická společnost.
- Ancuceanu, R., Hovaneț, M.V., Miron, A., Anghel, A.I., Dinu, M., (2023). Phytochemistry, Biological, and Pharmacological Properties of *Abies alba* Mill. *Plants* 2023, 12, 2860. <https://doi.org/10.3390/plants12152860>
- Aranda, I., Gil, L., Pardos, J., (1996). Seasonal water relations of three broadleaved species (*Fagus sylvatica* L., *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. and *Quercus pyrenaica* Willd.) in a mixed stand in the centre of the Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* 84, 219–229. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(96\)03729-2](https://doi.org/10.1016/0378-1127(96)03729-2)
- Atherton, J., Olascoaga, B., Alonso, L., Porcar-Castell, A., (2017). Spatial Variation of Leaf Optical Properties in a Boreal Forest Is Influenced by Species and Light Environment. *Front. Plant Sci.* 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00309>
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., Huete, A.R., (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews* 13, 95–120. <https://doi.org/10.1080/02757259509532298>
- Bednář, P., Souček, J., Krejza, J., Černý, J., (2022). Growth and Morphological Patterns of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Juveniles in Response to Light Intensities. *Forests* 13, 1804. <https://doi.org/10.3390/f13111804>
- Björkman, O., & Demmig, B. (1987). Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170, 489-504.
- Bottero, A., Forrester, D.I., Cailleret, M., Kohnle, U., Gessler, A., Michel, D., Bose, A.K., Bauhus, J., Bugmann, H., Cuntz, M., Gillerot, L., Hanewinkel, M., Lévesque, M., Ryder, J., Sainte-Marie, J., Schwarz, J., Yousefpour, R., Zamora-Pereira, J.C., Rigling, A., (2021). Growth resistance and resilience of mixed silver fir and Norway spruce forests in central Europe: Contrasting responses to mild and severe droughts. *Global Change Biology* 27, 4403–4419. <https://doi.org/10.1111/gcb.15737>
- Brzezińska, E., Kozłowska, M., (2008). Effect of sunlight on phenolic compounds accumulation in coniferous plants. *Dendrobiology* 59, 3–7.

- Buschmann, C., (2007). Variability and application of the chlorophyll fluorescence emission ratio red/far-red of leaves. *Photosynthesis Research* 92, 261–271. <https://doi.org/10.1007/s11120-007-9187-8>
- Carlos Sánchez-Rangel, J., Benavides, J., Basilio Heredia, J., Cisneros-Zevallos, L., A. Jacobo-Velázquez, D., (2013). The Folin–Ciocalteu assay revisited: improvement of its specificity for total phenolic content determination. *Analytical Methods* 5 (21), 5990–5999. <https://doi.org/10.1039/C3AY41125G>
- Castro, K.L., Sanchez-Azofeifa, G.A., (2008). Changes in Spectral Properties, Chlorophyll Content and Internal Mesophyll Structure of Senescing *Populus balsamifera* and *Populus tremuloides* Leaves. *Sensors* 8, 51–69. <https://doi.org/10.3390/s8010051>
- Cho, M.A., Skidmore, A.K., Atzberger, C., (2008). Towards red-edge positions less sensitive to canopy biophysical parameters for leaf chlorophyll estimation using properties optiques spectrales des feuilles (PROSPECT) and scattering by arbitrarily inclined leaves (SAILH) simulated data. *International Journal of Remote Sensing* 29, 2241–2255. <https://doi.org/10.1080/01431160701395328>
- Chojnacka-Ożga, L., Ożga, W., (2020). Different Temperature and Humidity Responses to the Clear-Cut and the Gap in a Scots Pine Forest: A Study Case in Central Poland. *Environmental Sciences Proceedings* 3, 74. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-07998>
- Chojnacka-Ożga, L., Ożga, W., Andrzejczyk, T., (2019). Air temperature on the clear-cut and the gap. *Sylvan* 163 (8), 655–664.
- Dai, J., Mumper, R.J., (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules* 15, 7313–7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- Davis, K.T., Dobrowski, S.Z., Holden, Z.A., Higuera, P.E., Abatzoglou, J.T., (2019). Microclimatic buffering in forests of the future: the role of local water balance. *Ecography* 42, 1–11. <https://doi.org/10.1111/ecog.03836>
- De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B.R., Zellweger, F., Aalto, J., Ashcroft, M.B., Christiansen, D.M., Decocq, G., De Pauw, K., Govaert, S., Greiser, C., Gril, E., Hampe, A., Jucker, T., Klimes, D.H., Koelemeijer, I.A., Lembrechts, J.J., Marrec, R., Meeussen, C., Ogée, J., Tyystjärvi, V., Vangansbeke, P., Hylander, K., (2021). Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology* 27, 2279–2297. <https://doi.org/10.1111/gcb.15569>
- De Frenne, P., Rodríguez-Sánchez, F., Coomes, D.A., Baeten, L., Verstraeten, G., Vellend, M., Bernhardt-Römermann, M., Brown, C.D., Brunet, J., Cornelis, J., Decocq, G.M., Dierschke, H., Eriksson, O., Gilliam, F.S., Hédli, R., Heinken, T., Hermy, M., Hommel, P., Jenkins, M.A., Kelly, D.L., Kirby, K.J., Mitchell, F.J.G., Naaf, T., Newman, M., Peterken, G., Petřík, P., Schultz, J., Sonnier, G., Van Calster, H., Waller, D.M., Walther, G.-R., White, P.S., Woods, K.D., Wulf, M., Graae, B.J., Verheyen, K., (2013). Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, 18561–18565. <https://doi.org/10.1073/pnas.1311190110>

- De Frenne, P., Zellweger, F., Rodríguez-Sánchez, F., Scheffers, B.R., Hylander, K., Luoto, M., Vellend, M., Verheyen, K., Lenoir, J., (2019). Global buffering of temperatures under forest canopies. *Nature Ecology & Evolution* 3, 744–749. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0842-1>
- Demmig, B., Winter, K., Krüger, A., Czygan, F.-C., (1987). Photoinhibition and Zeaxanthin Formation in Intact Leaves: A Possible Role of the Xanthophyll Cycle in the Dissipation of Excess Light Energy. *Plant Physiology* 84, 218–224. <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.218>
- Demmig-Adams, B., (1998). Survey of Thermal Energy Dissipation and Pigment Composition in Sun and Shade Leaves. *Plant and Cell Physiology* 39, 474–482. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029394>
- Demmig-Adams, B., Adams, W.W., (1996). The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends in Plant Science* 1, 21–26. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(96\)80019-7](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(96)80019-7)
- Dhuli, P., Rohloff, J., Strimbeck, G.R., (2014). Metabolite changes in conifer buds and needles during forced bud break in Norway spruce (*Picea abies*) and European silver fir (*Abies alba*). *Frontiers in Plant Science* 5, 121128.
- Dobrota, C., Lazar, L., Baciú, C., (2015). Assessment of physiological state of *Betula pendula* and *Carpinus betulus* through leaf reflectance measurements. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 216, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.08.003>
- Dobrowolska, D., Bončina, A., Klumpp, R., (2017). Ecology and silviculture of silver fir (*Abies alba* Mill.): a review. *Journal of Forest Research* 22, 326–335. <https://doi.org/10.1080/13416979.2017.1386021>
- Dörken, V.M., Lepetit, B., (2018). Morpho-anatomical and physiological differences between sun and shade leaves in *Abies alba* Mill. (Pinaceae, Coniferales): a combined approach. *Plant, Cell & Environment* 41, 1683–1697. <https://doi.org/10.1111/pce.13213>
- Ernst, W.H.O., Peterson, P.J., (1994). The role of biomarkers in environmental assessment (4). Terrestrial plants. *Ecotoxicology* 3, 180–192. <https://doi.org/10.1007/BF00117083>
- Eullaffroy, P., Vernet, G., (2003). The F684/F735 chlorophyll fluorescence ratio: a potential tool for rapid detection and determination of herbicide phytotoxicity in algae. *Water Research* 37, 1983–1990. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00621-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00621-8)
- Ewers, R.M., Banks-Leite, C., (2013). Fragmentation Impairs the Microclimate Buffering Effect of Tropical Forests. *PLOS ONE* 8, e58093. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058093>
- Formato, M., Scharenberg, F., Pacifico, S., Zidorn, C., (2022). Seasonal variations in phenolic natural products in *Fagus sylvatica* (European beech) leaves. *Phytochemistry* 203, 113385. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113385>

- Gates, D.M., Keegan, H.J., Schleter, J.C., Weidner, V.R., (1965). Spectral Properties of Plants. *Appl. Opt.*, AO 4, 11–20. <https://doi.org/10.1364/AO.4.000011>
- Gérardin, Pauline, Hentges, D., Gérardin, Philippe, Vinchelin, P., Dumarçay, S., Audoin, C., Gérardin-Charbonnier, C., (2023). Knotwood and Branchwood Polyphenolic Extractives of Silver Fir, Spruce and Douglas Fir and Their Antioxidant, Antifungal and Antibacterial Properties. *Molecules* 28, 6391. <https://doi.org/10.3390/molecules28176391>
- Gitelson, A.A., Buschmann, C., Lichtenthaler, H.K., (1999). The Chlorophyll Fluorescence Ratio F735/F700 as an Accurate Measure of the Chlorophyll Content in Plants. *Remote Sensing of Environment* 69, 296–302. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00023-1)
- Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N., (1997). Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing* 18, 2691–2697. <https://doi.org/10.1080/014311697217558>
- Grassi, G., Bagnaresi, U., (2001). Foliar morphological and physiological plasticity in *Picea abies* and *Abies alba* saplings along a natural light gradient. *Tree Physiology* 21, 959–967. <https://doi.org/10.1093/treephys/21.12-13.959>
- Grossiord, C., Gessler, A., Granier, A., Berger, S., Bréchet, C., Hentschel, R., Hommel, R., Scherer-Lorenzen, M., Bonal, D., (2014). Impact of interspecific interactions on the soil water uptake depth in a young temperate mixed species plantation. *Journal of Hydrology* 519, 3511–3519. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.011>
- Hashimoto, S., Suzuki, M., (2004). The impact of forest clear-cutting on soil temperature: a comparison between before and after cutting, and between clear-cut and control sites. *Journal of Forest Research* 9, 125–132. <https://doi.org/10.1007/s10310-003-0063-x>
- He, L., Ivanov, V.Y., Bohrer, G., Thomsen, J.E., Vogel, C.S., Moghaddam, M., (2013). Temporal dynamics of soil moisture in a northern temperate mixed successional forest after a prescribed intermediate disturbance. *Agricultural and Forest Meteorology* 180, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.04.014>
- Hederová, L., Macek, M., Wild, J., Brůna, J., Kašpar, V., Klinerová, T., Kopecký, M., (2023). Ecologically relevant canopy openness from hemispherical photographs. *Agricultural and Forest Meteorology* 330, 109308. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109308>
- Homolová, L., Lukeš, P., Malenovský, Z., Lhotáková, Z., Kaplan, V., Hanuš, J., (2013). Measurement methods and variability assessment of the Norway spruce total leaf area: implications for remote sensing. *Trees* 27, 111–121. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0774-8>
- Hovi, A., Raitio, P., Rautiainen, M., (2017). A spectral analysis of 25 boreal tree species. *Silva Fennica* 51, 7753. <https://doi.org/10.14214/sf.7753>

- Huang, J., Kautz, M., Trowbridge, A.M., Hammerbacher, A., Raffa, K.F., Adams, H.D., Goodsman, D.W., Xu, C., Meddens, A.J.H., Kandasamy, D., Gershenson, J., Seidl, R., Hartmann, H., (2020). Tree defence and bark beetles in a drying world: carbon partitioning, functioning and modelling. *New Phytologist* 225, 26–36. <https://doi.org/10.1111/nph.16173>
- Hunt, L., Lhotáková, Z., Neuwirthová, E., Klem, K., Oravec, M., Kupková, L., Červená, L., Epstein, H.E., Campbell, P., Albrechtová, J., (2023). Leaf Functional Traits in Relation to Species Composition in an Arctic–Alpine Tundra Grassland. *Plants* 12, 1001. <https://doi.org/10.3390/plants12051001>
- Izaguirre, M.M., Mazza, C.A., Svatoš, A., Baldwin, I.T., BallarÉ, C.L., (2007). Solar Ultraviolet-B Radiation and Insect Herbivory Trigger Partially Overlapping Phenolic Responses in *Nicotiana attenuata* and *Nicotiana longiflora*. *Annals of Botany* 99, 103–109. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl226>
- Jensen, J. R. (2014): Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. Pearson, Harlow, Essex.
- Junttila, S., Vastaranta, M., Liang, X., Kaartinen, H., Kukko, A., Kaasalainen, S., Holopainen, M., Hyyppä, H., Hyyppä, J., (2017). Measuring Leaf Water Content with Dual-Wavelength Intensity Data from Terrestrial Laser Scanners. *Remote Sensing* 9, 8. <https://doi.org/10.3390/rs9010008>
- Kang, L., Ji, C.Y., Kim, S.H., Ke, Q., Park, S.-C., Kim, H.S., Lee, H.-U., Lee, J.S., Park, W.S., Ahn, M.-J., Lee, H.-S., Deng, X., Kwak, S.-S., (2017). Suppression of the *β-carotene hydroxylase* gene increases  $\beta$ -carotene content and tolerance to abiotic stress in transgenic sweetpotato plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 117, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.017>
- Kantor, P., Vrška, T., Dobrovolný, L., Novák, J., (2013). Pěstění lesů. Skripta – učební text. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně: 153 s.
- Kargar, M., Ghorbani, R., Rashed Mohassel, M.H., Rastgoo, M., (2019). Chlorophyll Fluorescence – a Tool for Quick Identification of Accase and ALS Inhibitor Herbicides Performance. *Planta Daninha* 37, e019166813. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100132>
- Kirchgeßner, H.-D., Reichert, K., Hauff, K., Steinbrecher, R., Schnitzler, J.-P., Pfündel, E.E., (2003). Light and temperature, but not UV radiation, affect chlorophylls and carotenoids in Norway spruce needles (*Picea abies* (L.) Karst.). *Plant, Cell & Environment* 26, 1169–1179. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01043.x>
- Kobal, M., Grčman, H., Zupan, M., Levanič, T., Simončič, P., Kadunc, A., Hladnik, D., (2015). Influence of soil properties on silver fir (*Abies alba* Mill.) growth in the Dinaric Mountains. *Forest Ecology and Management* 337, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.10.017>

- Korpel', Š., (1991). Pestovanie lesa, prví ed, Lesníctvo. Bratislava: Príroda. 465 s. ISBN: 80-07-00428-9.
- Kotilainen, T., Tegelberg, R., Julkunen-Tiitto, R., Lindfors, A., O'Hara, R.B., Aphalo, P.J., (2010). Seasonal fluctuations in leaf phenolic composition under UV manipulations reflect contrasting strategies of alder and birch trees. *Physiologia Plantarum* 140, 297–309. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2010.01398.x>
- Kunert, N., Hajek, P., Hietz, P., Morris, H., Rosner, S., Tholen, D., (2022). Summer temperatures reach the thermal tolerance threshold of photosynthetic decline in temperate conifers. *Plant Biology* 24, 1254–1261. <https://doi.org/10.1111/plb.13349>
- Lattanzio, V., (2013). Phenolic Compounds: Introduction, in: *Natural Products: Phytochemistry, Botany and Metabolism of Alkaloids, Phenolics and Terpenes*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, pp. 1543–1580. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6\\_57](https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6_57)
- Lawlor, D.W., Cornic, G., (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment* 25, 275–294. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
- Lawson, T., Violet-Chabrand, S., (2018). Chlorophyll Fluorescence Imaging, in: Covshoff, S. (Ed.), *Photosynthesis: Methods and Protocols*, *Methods in Molecular Biology*. Springer, New York, NY, pp. 121–140. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7786-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7786-4_8)
- Lhotáková, Z., Kopačková-Strnadová, V., Oulehle, F., Homolová, L., Neuwirthová, E., Švik, M., Janoutová, R., Albrechtová, J., (2021). Foliage Biophysical Trait Prediction from Laboratory Spectra in Norway Spruce Is More Affected by Needle Age Than by Site Soil Conditions. *Remote Sensing* 13, 391. <https://doi.org/10.3390/rs13030391>
- Lhotáková, Z., Neuwirthová, E., Potůčková, M., Červená, L., Hunt, L., Kupková, L., Lukeš, P., Campbell, P., Albrechtová, J. (2024). Leaf structure matters for field evaluation of chlorophyll content with portable meters. *Konference 13th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, 16.-18. 4. 2024, Valencie, Španělsko.
- Lhotáková, Z., Urban, O., Dubánková, M., Cvikrová, M., Tomášková, I., Kubínová, L., Zvára, K., Marek, M.V., Albrechtová, J., (2012). The impact of long-term CO<sub>2</sub> enrichment on sun and shade needles of Norway spruce (*Picea abies*): Photosynthetic performance, needle anatomy and phenolics accumulation. *Plant Science* 188–189, 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.02.013>
- Lichtenthaler, H.K., (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, in: *Methods in Enzymology, Plant Cell Membranes*. Academic Press, pp. 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Lichtenthaler, H.K., Ač, A., Marek, M.V., Kalina, J., Urban, O., (2007). Differences in pigment composition, photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence images of sun and shade leaves of four tree species. *Plant Physiology and Biochemistry* 45, 577–588. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.04.006>

- Lichtenthaler, H.K., Hak, R., Rinderle, U., (1990). The chlorophyll fluorescence ratio F690/F730 in leaves of different chlorophyll content. *Photosynthesis Research* 25, 295–298. <https://doi.org/10.1007/BF00033170>
- Loll, B., Kern, J., Saenger, W., Zouni, A., Biesiadka, J., (2005). Towards complete cofactor arrangement in the 3.0 Å resolution structure of photosystem II. *Nature* 438, 1040–1044. <https://doi.org/10.1038/nature04224>
- Lugojan, C., Ciulca, S., (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology* 15 (2), 173–177.
- Lukeš, P., Stenberg, P., Rautiainen, M., Möttöus, M., Vanhatalo, K.M., (2013). Optical properties of leaves and needles for boreal tree species in Europe. *Remote Sensing Letters* 4, 667–676. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2013.782112>
- Marchiosi, R., dos Santos, W.D., Constantin, R.P., de Lima, R.B., Soares, A.R., Finger-Teixeira, A., Mota, T.R., de Oliveira, D.M., Foletto-Felipe, M. de P., Abrahão, J., Ferrarese-Filho, O., (2020). Biosynthesis and metabolic actions of simple phenolic acids in plants. *Phytochemistry Reviews* 19, 865–906. <https://doi.org/10.1007/s11101-020-09689-2>
- Martens, S., Preuß, A., Matern, U., (2010). Multifunctional flavonoid dioxygenases: Flavonol and anthocyanin biosynthesis in *Arabidopsis thaliana* L. *Phytochemistry* 71, 1040–1049. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.04.016>
- Mašková, P., Radochová, B., Lhotáková, Z., Michálek, J., Lipavská, H., (2017). Nonstructural carbohydrate-balance response to long-term elevated CO<sub>2</sub> exposure in European beech and Norway spruce mixed cultures: biochemical and ultrastructural responses. *Canadian Journal of Forest Research* 47, 1488–1494. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0083>
- Mauri, A., de Rigo, D., Caudullo, G., (2016). *Abies alba* in Europe: distribution, habitat, usage and threats, in: In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg, 48–49.
- Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of experimental botany*, 51(345), 659–668.
- McLaughlin, B.C., Ackerly, D.D., Klos, P.Z., Natali, J., Dawson, T.E., Thompson, S.E., (2017). Hydrologic refugia, plants, and climate change. *Global Change Biology* 23, 2941–2961. <https://doi.org/10.1111/gcb.13629>
- MZ ČR 2020. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2020. Praha, Ministerstvo zemědělství České republiky: 128 s.
- Niinemets, Ü., Lukjanova, A., Turnbull, M.H., Sparrow, A.D., (2007). Plasticity in mesophyll volume fraction modulates light-acclimation in needle photosynthesis in two pines. *Tree Physiology* 27, 1137–1151. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.8.1137>

- Nybakken, L., Lie, M.H., Julkunen-Tiitto, R., Asplund, J., Ohlson, M., (2018). Fertilization Changes Chemical Defense in Needles of Mature Norway Spruce (*Picea abies*). *Frontiers in Plant Science* 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00770>
- O'Neill, A.L., Kupiec, J.A., Curran, P.J., (2002). Biochemical and reflectance variation throughout a Sitka spruce canopy. *Remote Sensing of Environment* 80, 134–142. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00294-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00294-2)
- Öquist, G., Huner, N., (2003). Photosynthesis of Overwintering Evergreen Plants. *Annual review of plant biology* 54 (1), 329–355. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.54.072402.115741>
- Oxborough, K., (2004). Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. *Journal of Experimental Botany* 55, 1195–1205. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh145>
- Palouš, D. (2023). Zhodnocení fyziologického stavu buku lesního ve výsadbách na lokalitách napříč gradientem jeho stanovištní ekologické valence.
- Pedros, R., Moya, I., Goulas, Y., Jacquemoud, S., (2008). Chlorophyll fluorescence emission spectrum inside a leaf. *Photochemical & Photobiological Sciences* 7, 498–502. <https://doi.org/10.1039/b719506k>
- Porra, R.J., Thompson, W.A., Kriedemann, P.E., (1989). Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics* 975, 384–394. [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(89\)80347-0](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(89)80347-0)
- Radler, K., Oltchev, A., Panferov, O., Klinck, U., Gravenhorst, G., (2010). Radiation and Temperature Responses to a Small Clear-Cut in a Spruce Forest. *The Open Geography Journal* 3 (1).
- Rautiainen, M., Lukeš, P., Homolová, L., Hovi, A., Pisek, J., Möttus, M., (2018). Spectral Properties of Coniferous Forests: A Review of In Situ and Laboratory Measurements. *Remote Sensing* 10, 207. <https://doi.org/10.3390/rs10020207>
- Reich, P.B., Tjoelker, M.G., Walters, M.B., Vanderklein, D.W., Buschena, C., (1998). Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedlings of nine boreal tree species grown in high and low light. *Functional Ecology* 12, 327–338. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1998.00208.x>
- Rinderle, U., Lichtenthaler, H.K., (1988). The Chlorophyll Fluorescence Ratio F690/F735 as a Possible Stress Indicator, in: Lichtenthaler, H.K. (Ed.), *Applications of Chlorophyll Fluorescence in Photosynthesis Research, Stress Physiology, Hydrobiology and Remote Sensing: An Introduction to the Various Fields of Applications of the in Vivo Chlorophyll Fluorescence Also Including the Proceedings of the First International Chlorophyll Fluorescence Symposium Held in the Physikzentrum, Bad Honnef, F.R.G., 6–8 June*



1998. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 189–196. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-2823-7\\_23](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2823-7_23)
- Robakowski, P., Bielinis, E., (2017). Needle age dependence of photosynthesis along a light gradient within an *Abies alba* crown. *Acta Physiologiae Plant* 39, 83. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2376-y>
- Robakowski, P., Łukowski, A., Ye, Z.-P., Kryszewski, A., Kowalkowski, W., (2022). Northern Provenances of Silver Fir Differ with Acclimation to Contrasting Light Regimes. *Forests* 13, 1164. <https://doi.org/10.3390/f13081164>
- Robakowski, P., Montpied, P., Dreyer, E., (2003). Plasticity of morphological and physiological traits in response to different levels of irradiance in seedlings of silver fir (*Abies alba* Mill.). *Trees* 17, 431–441. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0257-z>
- Robakowski, P., Wyka, T. (2003). Acclimation of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings to irradiance conditions under canopies of different tree species in Sudety Mts. (southern Poland). *Polish Journal of Ecology*, 51(3), 323-337.
- Robakowski, P., Wyka, T., (2004). Down-regulation of PS II in needles of silver fir (*Abies alba* MILL.) seedlings growing under the canopy of European larch and Norway spruce. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 496 (2).
- Robakowski, P., Wyka, T., Samardakiewicz, S., Kierzkowski, D., (2004). Growth, photosynthesis, and needle structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings under different canopies. *Forest Ecology and Management* 201, 211–227. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.06.029>
- Roberts, D.A., Ustin, S.L., Ogunjemiyo, S., Greenberg, J., Dobrowski, S.Z., Chen, J., Hinckley, T.M., (2004). Spectral and Structural Measures of Northwest Forest Vegetation at Leaf to Landscape Scales. *Ecosystems* 7, 545–562. <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0144-5>
- Santini, F., Kefauver, S.C., Resco de Dios, V., Araus, J.L., Voltas, J., (2019). Using unmanned aerial vehicle-based multispectral, RGB and thermal imagery for phenotyping of forest genetic trials: A case study in *Pinus halepensis*. *Annals of Applied Biology* 174, 262–276. <https://doi.org/10.1111/aab.12484>
- Schmidt, M., Jochheim, H., Kersebaum, K.-C., Lischeid, G., Nendel, C., (2017). Gradients of microclimate, carbon and nitrogen in transition zones of fragmented landscapes – a review. *Agricultural and Forest Meteorology* 232, 659–671. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.022>
- Schneider, F.D., Morsdorf, F., Schmid, B., Petchey, O.L., Hueni, A., Schimel, D.S., Schaepman, M.E., (2017). Mapping functional diversity from remotely sensed morphological and physiological forest traits. *Nat Commun* 8, 1441. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01530-3>

- Scholler, M., Braun, U., Buchheit, R., Schulte, T., Bubner, B., (2022). Studies on European rust fungi, Pucciniales: molecular phylogeny, taxonomy, and nomenclature of miscellaneous genera and species in Pucciniastraceae and Coleosporiaceae. *Mycol Progress* 21, 64. <https://doi.org/10.1007/s11557-022-01810-3>
- Shi, Y., Wang, T., Skidmore, A.K., Holzwarth, S., Heiden, U., Heurich, M., (2021). Mapping individual silver fir trees using hyperspectral and LiDAR data in a Central European mixed forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 98, 102311. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102311>
- Skakun, R.S., Wulder, M.A., Franklin, S.E., (2003). Sensitivity of the thematic mapper enhanced wetness difference index to detect mountain pine beetle red-attack damage. *Remote Sensing of Environment* 86, 433–443. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00112-3)
- Soukupová, J., Rock, B.N., Albrechtová, J., (2001). Comparative study of two spruce species in a polluted mountainous region. *New Phytologist* 150, 133–145. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00066.x>
- Stirbet, A., Govindjee, (2011). On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, Special Issue on Recent Progress in the Studies of Structure and Function of Photosystem II* 104, 236–257. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2010.12.010>
- Strasser, R.J., Srivastava, A., Tsimilli-Michael, M., (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation*, 25, 445-483.
- Suratman, M. N. (2012). Tree species diversity and forest stand structure of Pahang National Park, Malaysia. *Biodiversity enrichment in a diverse world*, 19, 45-56.
- Tang, X., Zang, Z., Lin, H., Wang, X., Wen, Z., (2023). Using a Vegetation Index to Monitor the Death Process of Chinese Fir Based on Hyperspectral Data. *Forests* 14, 2444. <https://doi.org/10.3390/f14122444>
- Tegelberg, R., Julkunen-Tiitto, R., Aphalo, P.J., (2004). Red: far-red light ratio and UV-B radiation: their effects on leaf phenolics and growth of silver birch seedlings. *Plant, Cell & Environment* 27, 1005–1013. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01205.x>
- Tinner, W., Colombaroli, D., Heiri, O., Henne, P.D., Steinacher, M., Untenecker, J., Vescovi, E., Allen, J.R.M., Carraro, G., Conedera, M., Joos, F., Lotter, A.F., Luterbacher, J., Samartin, S., Valsecchi, V., (2013). The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecological Monographs* 83, 419–439. <https://doi.org/10.1890/12-2231.1>
- Tomášková, I., Pastierovič, F., Krejzková, A., Čepl, J., Hradecký, J., (2021). Norway spruce ecotypes distinguished by chlorophyll a fluorescence kinetics. *Acta Physiologiae Plantarum* 43, 24. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03190-1>

- Torres, R., Romero, J.M., Lagorio, M.G., (2021). Effects of sub-optimal illumination in plants. Comprehensive chlorophyll fluorescence analysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 218, 112182. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2021.112182>
- Turek, K., Kamler, J., Čermák, P., (2010). Škody zvěří na lesních porostech Moravskoslezských Beskyd a vybrané ekologické faktory, které je ovlivňují Game damage to forest stands in the Moravskoslezské Beskydy Mts. and ecological factors which influence them. *Acta Mus. Beskid, 2*, 173-181.
- Uarrotá, V.G., Stefen, D.L.V., Leolato, L.S., Gindri, D.M., Nerling, D., (2018). Revisiting Carotenoids and Their Role in Plant Stress Responses: From Biosynthesis to Plant Signaling Mechanisms During Stress, in: Gupta, D.K., Palma, J.M., Corpas, F.J. (Eds.), *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants*. Springer International Publishing, Cham, pp. 207–232. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_10)
- Vacek, S., Vacek, Z., Schwarz, O., Raj, A., Nosková, I., Balcar, Z., Bulušek, D., Bartošík, Z., Rolínková, V., Hirschová, E., Zahradník, D., Mikeska, M., Hynek, V., Baláš, M., Bílek, L., Malík, V., Šolc, R., Bednařík, J., (2009). Obnova lesních porostů na výzkumných plochách v národních parcích Krkonoš [Regeneration of Forest Stands on Research Plots in the Krkonoše National Parks]. *Folia Forestalia Bohemica*. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, s. r. o., č. 11, 288 s.
- Vejpustková M. (ed.) (2019): Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice v rámci programu ICP Forests a navazujících projektů. Data do roku 2018 [Monitoring of forest condition in the Czech Republic in frame of ICP Forests programme and follow-up projects. Data to 2018]. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. i., 2019, 92 s.
- Vile, D., Garnier, É., Shipley, B., Laurent, G., Navas, M. L., Roumet, C., Lavorel, S., Díaz, S., Hodgson, J.G., Lloret, F., Midgley, G. F., Poorter, H., Rutherford, M.C., Wilson, P.J., Wright, I.J., (2005). Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. *Annals of Botany*, 96(6), 1129-1136. <https://doi.org/10.1093/aob/mci264>
- Vilhar, U., Starr, M., Urbančič, M., Smolej, I., Simončič, P., (2005). Gap evapotranspiration and drainage fluxes in a managed and a virgin dinaric silver fir–beech forest in Slovenia: a modelling study. *European Journal of Forest Research* 124, 165–175. <https://doi.org/10.1007/s10342-005-0067-5>
- Violle, C., Navas, M.-L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., Garnier, E., (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116, 882–892. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>
- Vitasse, Y., Bottero, A., Rebetez, M., Conedera, M., Augustin, S., Brang, P., Tinner, W., (2019). What is the potential of silver fir to thrive under warmer and drier climate? *European Journal of Forest Research* 138, 547–560. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01192-4>

- von Arx, G., Graf Pannatier, E., Thimonier, A., Rebetez, M., (2013). Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: potential implications for seedling establishment in a changing climate. *Journal of Ecology* 101, 1201–1213. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12121>
- Warren, C.R., (2006). Why does photosynthesis decrease with needle age in *Pinus pinaster*? *Trees* 20, 157–164. <https://doi.org/10.1007/s00468-005-0021-7>
- Wellburn, A.R., (1994). The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of Plant Physiology* 144, 307–313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
- Witkowski, E.T.F., Lamont, B.B., (1991). Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia* 88, 486–493. <https://doi.org/10.1007/BF00317710>
- Wulder, M.A., Dymond, C.C., White, J.C., Leckie, D.G., Carroll, A.L., (2006). Surveying mountain pine beetle damage of forests: A review of remote sensing opportunities. *Forest Ecology and Management* 221, 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.09.021>
- Yang, Q., Blanco, N.E., Hermida-Carrera, C., Lehotai, N., Hurry, V., Strand, Å., (2020). Two dominant boreal conifers use contrasting mechanisms to reactivate photosynthesis in the spring. *Nature Communications* 11, 128. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13954-0>
- Yunus, M., Uday P., & Prasanna M. (2014). *Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation & Adaptation*. CRC Press.
- Zarter, C.R., Demmig-Adams, B., Ebbert, V., Adamska, I., Adams III, W.W., (2006). Photosynthetic capacity and light harvesting efficiency during the winter-to-spring transition in subalpine conifers. *New Phytologist* 172, 283–292. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01816.x>
- Zhuang, J., Wang, Y., Chi, Y., Zhou, L., Chen, J., Zhou, W., Song, J., Zhao, N., Ding, J., (2020). Drought stress strengthens the link between chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic traits. *PeerJ* 8, e10046. <https://doi.org/10.7717/peerj.10046>

## 7.1 Internetové zdroje

[https://eagri.cz/public/web/file/688968/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2020\\_web.pdf](https://eagri.cz/public/web/file/688968/Zprava_o_stavu_lesa_2020_web.pdf)

<https://geoportal.uhul.cz/mapy/MapyOpri.html>

<https://mapy.geology.cz/pudy/#>

<https://tomst.com/web/en/systems/tms/point-dendrometer/>

<https://tomst.com/web/en/systems/tms/tms-4/>

<https://tomst.com/web/wp-content/uploads/Doc/Calibration-set-TMS3.pdf>

[https://zenodo.org/record/3247631/files/CSP\\_protocol\\_Phenols\\_Tannins\\_Analysis.pdf](https://zenodo.org/record/3247631/files/CSP_protocol_Phenols_Tannins_Analysis.pdf)

<http://www.emsbrno.cz/p.axd/en/DendroNETWORK.DendroNET.html>

## 8 Přílohy

Příloha 1: Souhrnná tabulka signifikance sledovaných biofyzikálních parametrů u letního odběru roku 2023.

Příloha 2: Souhrnné tabulky pro lokalitu přirozená obnova, naměřených hodnot –  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v$  a  $QY_{max}$  na jaře a v létě roku 2023.

Příloha 3: Souhrnné tabulky pro lokalitu clonná seč, naměřených hodnot –  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v$  a  $QY_{max}$  na jaře a v létě roku 2023.

Příloha 4: Souhrnné tabulky pro lokalitu skupinová seč, naměřených hodnot –  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v$  a  $QY_{max}$  na jaře a v létě roku 2023.

Příloha 5: Souhrnné tabulky pro lokalitu násečná seč, naměřených hodnot –  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v$  a  $QY_{max}$  na jaře a v létě roku 2023.

Příloha 6: Souhrnné tabulky pro lokalitu holá seč, naměřených hodnot –  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v$  a  $QY_{max}$  na jaře a v létě roku 2023.

Příloha 7: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu přirozená obnova na jaře a v létě roku 2023, pro 2. ročník jehlic.

Příloha 8: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu clonná seč na jaře a v létě roku 2023, pro 2. ročník jehlic.

Příloha 9: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu skupinová seč na jaře a v létě roku 2023, pro 2. ročník jehlic.

Příloha 10: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu násečná seč na jaře a v létě roku 2023, pro 2. ročník jehlic.

Příloha 11: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu holá seč na jaře a v létě roku 2023, pro 2. ročník jehlic.

Příloha 12: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu přirozená obnova pro 1. a 2. ročník jehlic odebraných v létě roku 2023.

Příloha 13: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu clonná seč pro 1. a 2. ročník jehlic odebraných v létě roku 2023.

Příloha 14: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu skupinová seč pro 1. a 2. ročník jehlic odebraných v létě roku 2023.

Příloha 15: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu násečná seč pro 1. a 2. ročník jehlic odebraných v létě roku 2023.

Příloha 16: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu holá seč pro 1. a 2. ročník jehlic odebraných v létě roku 2023.

Příloha 17: Souhrnná tabulka pro naměřené hodnoty REIP – pozice inflexního bodu červeného okraje, spektrálních dat odrazivosti vzorků listoví odebraných na jaře roku 2023 pro každou výzkumnou lokalitu zvlášť.

Příloha 18: Souhrnná tabulka pro naměřené hodnoty REIP – pozice inflexního bodu červeného okraje, spektrálních dat odrazivosti vzorků listoví odebraných v létě roku 2023 (1. ročník) pro každou výzkumnou lokalitu zvlášť.

Příloha 19: Souhrnná tabulka pro naměřené hodnoty REIP – pozice inflexního bodu červeného okraje, spektrálních dat odrazivosti vzorků listoví odebraných v létě roku 2023 (2. ročník) pro každou výzkumnou lokalitu zvlášť.

**Příloha 1:** Souhrnná tabulka signifikance sledovaných biofyzikálních parametrů u letního odběru roku 2023. Hvězdička (\*) u jednotlivých hodnot značí signifikantní výsledek ( $\alpha = 0,05$ ) a jednotlivé barvy v tabulce značí jaký T-Test byl na základě statistického vyhodnocení použit. Zelená barva: Equal-Variance T-Test; oranžová barva: Mann-Whitney U or Wilcoxon Rank-Sum Test for Difference in Location; žlutá barva: Aspin-Welch Unequal-Variance T-Test.

Signifikance (*)		Přirozená obnova	Kocanda 2	Kocanda 3	Kocanda 4	Znětínek
		p-hodnota				
1. a 2. ročník	CFR	*0,00005	*0,00517	*0,020989	*0,00378	*0,03003
	Chl a	*0,00018	*0,003611	*0,00031	*0,00264	*0,002202
	Chl b	*0,00067	*0,004586	*0,00017	*0,007285	*0,001706
	Chl a +b	*0,00026	*0,003611	*0,00026	*0,007285	*0,001706
	Kar	0,391267	*0,014019	*0,025748	*0,007285	*0,003611
	Kar/Chl a +b	*0,012763	0,173456	*0,001309	*0,009108	*0,00217
	Fenoly	*0,00000	*0,00000	*0,00000	*0,00000	*0,000183
	LMA	*0,00002	0,3004	*0,00006	*0,02157	*0,00954
	EWT	*0,014005	0,784922	*0,00105	0,11495	*0,04756
	REIP	0,384673	0,273036	0,96985	0,121225	0,520523

**Příloha 2:** Souhrnné tabulky pro lokalitu přirozená obnova, naměřených hodnot – Fo, Fm, Fv a QYmax na jaře a v létě roku 2023.

Přirozená obnova - Jaro 2023				
	Fo	Fm	Fv (Fm-Fo)	QYmax (Fv/Fm)
strom 0	2 775,6	9 822,4	7 046,8	0,71
strom 1	2 629,5	9 511,5	6 882,0	0,72
strom 2	2 267,4	9 367,8	7 100,4	0,76
strom 3	3 826,6	13 325,8	9 499,2	0,71
strom 4	2 049,0	7 632,4	5 583,4	0,71
strom 5	2 638,2	9 202,2	6 564,0	0,70
strom 6	2 608,2	8 947,2	6 339,0	0,71
strom 7	2137,4	8400,6	6263,2	0,74
strom 8	1 904,4	5 989,2	4 084,8	0,67
strom 9	2 046,0	7 697,8	5 651,8	0,72

Přirozená obnova - Léto 2023				
	Fo	Fm	Fv (Fm-Fo)	QYmax (Fv/Fm)
strom 0	2 440,8	17 164,6	14 723,8	0,86
strom 1	1 951,3	11 572,3	9 621,0	0,83
strom 2	2 034,0	13 107,6	11 073,6	0,84
strom 3	2 520,2	17 734,6	15 214,4	0,86
strom 4	2 116,8	11 249,3	9 132,5	0,81
strom 5	2 322,8	13 637,0	11 314,2	0,83
strom 6	3 186,4	14 544,0	11 357,6	0,78
strom 7	2 669,8	13 216,2	10 546,4	0,80
strom 8	2 117,8	11 950,0	9 832,2	0,82
strom 9	2 291,8	13 229,8	10 938,0	0,83

**Příloha 3:** Souhrnné tabulky pro lokalitu clonná seč, naměřených hodnot – Fo, Fm, Fv a QYmax na jaře a v létě roku 2023.

Clonná seč - Jaro 2023				
	Fo	Fm	Fv (Fm-Fo)	QYmax (Fv/Fm)
strom 0	2 426,6	13 892,0	11 465,4	0,82
strom 1	2 372,6	12 954,8	10 582,2	0,82
strom 2	2 159,4	12 374,6	10 215,2	0,83
strom 3	2 345,0	14 287,2	11 942,2	0,84
strom 4	2 827,8	16 865,4	14 037,6	0,83
strom 5	2 716,0	16 071,8	13 355,8	0,83
strom 6	2 376,8	13 064,6	10 687,8	0,81
strom 7	2 496,6	14 454,6	11 958,0	0,83
strom 8	2 177,6	15 182,2	13 004,6	0,86
strom 9	2 327,2	14 289,2	11 962,0	0,84

Clonná seč - Léto 2023				
	Fo	Fm	Fv (Fm-Fo)	QYmax (Fv/Fm)
strom 0	2 552,6	15 258,2	12 705,6	0,83
strom 1	3 008,8	16 837,6	13 828,8	0,82
strom 2	2 891,6	16 731,6	13 840,0	0,83
strom 3	2 831,6	13 152,6	10 321,0	0,78
strom 4	3 065,0	17 352,0	14 287,0	0,82
strom 5	2 887,2	15 986,2	13 099,0	0,82
strom 6	2 951,0	16 585,0	13 634,0	0,82
strom 7	2 805,8	17 134,6	14 328,8	0,84
strom 8	2 785,8	16 391,0	13 605,2	0,83
strom 9	2 472,8	14 113,8	11 641,0	0,82



**Příloha 4:** Souhrnné tabulky pro lokalitu skupinová seč, naměřených hodnot – Fo, Fm, Fv a QYmax na jaře a v létě roku 2023.

Skupinová seč - Jaro 2023				
	Fo	Fm	Fv (Fm-Fo)	QYmax (Fv/Fm)
strom 0	2 215,6	10 632,2	8 416,6	0,78
strom 1	1 807,6	8 066,6	6 259,0	0,77
strom 2	2 408,0	6 788,2	4 380,2	0,63
strom 3	3 577,2	11 042,8	7 465,6	0,66
strom 4	2 080,2	8 057,2	5 977,0	0,72
strom 5	2 708,2	14 388,8	11 680,6	0,81
strom 6	2 304,2	8 666,2	6 362,0	0,73
strom 7	2 101,8	10 217,4	8 115,6	0,79
strom 8	2 092,0	11 601,2	9 509,2	0,81
strom 9	2 915,2	15 196,2	12 281,0	0,81

Skupinová seč - Léto 2023				
	Fo	Fm	Fv (Fm-Fo)	QYmax (Fv/Fm)
strom 0	2 646,2	17 870,6	15 224,4	0,85
strom 1	2 442,6	15 810,4	13 367,8	0,85
strom 2	2 329,2	13 346,0	11 016,8	0,82
strom 3	2 795,6	16 745,6	13 950,0	0,83
strom 4	2 512,8	14 429,3	11 916,5	0,83
strom 5	2 897,4	16 632,2	13 734,8	0,82
strom 6	2 522,4	11 724,8	9 202,4	0,78
strom 7	2 434,8	14 466,2	12 031,4	0,83
strom 8	2 620,2	16 055,8	13 435,6	0,83
strom 9	2 967,2	18 628,0	15 660,8	0,84

**Příloha 5:** Souhrnné tabulky pro lokalitu násečná seč, naměřených hodnot – Fo, Fm, Fv a QYmax na jaře a v létě roku 2023.

Násečná seč - Jaro 2023				
	Fo	Fm	Fv (Fm-Fo)	QYmax (Fv/Fm)
strom 0	2 644,0	15 754,4	13 110,4	0,83
strom 1	2 075,3	13 846,3	11 771,0	0,85
strom 2	2 949,2	16 699,8	13 750,6	0,82
strom 3	2 546,2	15 569,2	13 023,0	0,83
strom 4	2 144,8	13 703,8	11 559,0	0,84
strom 5	2 829,6	17 509,4	14 679,8	0,84
strom 6	2 672,0	13 672,8	11 000,8	0,80
strom 7	2 729,8	12 690,0	9 960,2	0,77
strom 8	2 500,3	13 836,3	11 336,0	0,82
strom 9	2 472,8	14 018,0	11 545,3	0,82

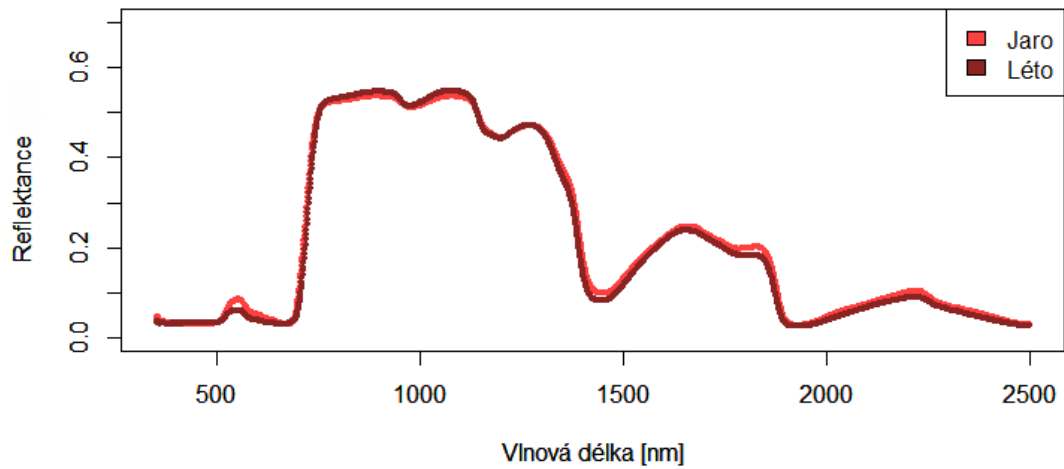
Násečná seč - Léto 2023				
	Fo	Fm	Fv (Fm-Fo)	QYmax (Fv/Fm)
strom 0	3 188,8	18 506,4	15 317,6	0,83
strom 1	2 811,6	17 790,6	14 979,0	0,84
strom 2	2 977,0	16 520,4	13 543,4	0,82
strom 3	2 496,6	13 852,6	11 356,0	0,82
strom 4	2 432,6	14 931,2	12 498,6	0,84
strom 5	2 594,4	16 259,2	13 664,8	0,84
strom 6	2 851,6	16 622,0	13 770,4	0,83
strom 7	2 353,2	14 366,8	12 013,6	0,84
strom 8	3 003,8	16 084,0	13 080,3	0,81
strom 9	2 432,6	14 183,4	11 750,8	0,83

**Příloha 6:** Souhrnné tabulky pro lokalitu holá seč, naměřených hodnot – Fo, Fm, Fv a QYmax na jaře a v létě roku 2023.

Holá seč - Jaro 2023				
	Fo	Fm	Fv (Fm-Fo)	QYmax (Fv/Fm)
strom 0	2 283,6	8 401,0	6 117,4	0,72
strom 1	1 884,6	5 128,6	3 244,0	0,63
strom 2	2 715,8	7 920,2	5 204,4	0,65
strom 3	2 616,0	8 548,2	5 932,2	0,68
strom 4	1 918,4	5 739,2	3 820,8	0,66
strom 5	2 109,8	6 038,8	3 929,0	0,64
strom 6	1 795,0	5 613,2	3 818,2	0,67
strom 7	3 569,2	13 359,8	9 790,6	0,72
strom 8	3 050,8	14 891,2	11 840,4	0,79
strom 9	1 445,0	4 307,2	2 862,2	0,66

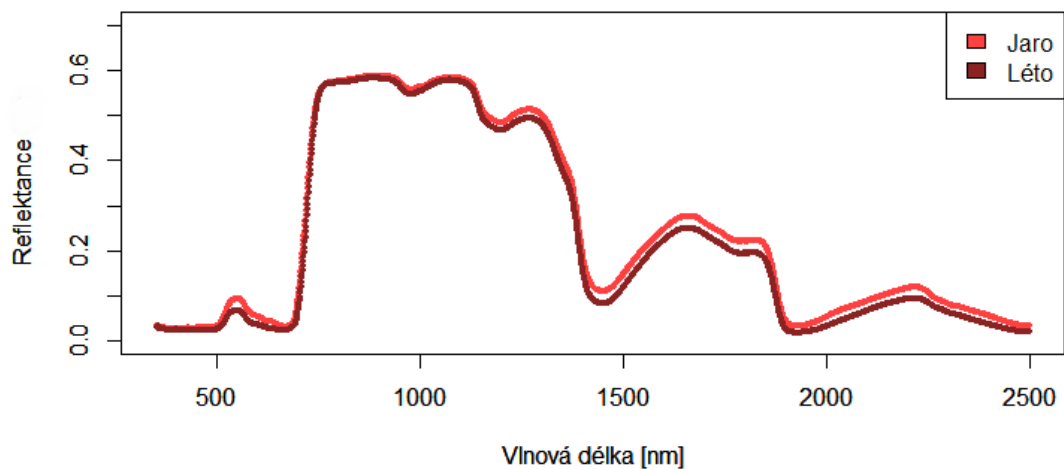
Holá seč - Léto 2023				
	Fo	Fm	Fv (Fm-Fo)	QYmax (Fv/Fm)
strom 0	2 440,8	12 933,2	10 492,4	0,81
strom 1	2 412,8	14 681,8	12 269,0	0,83
strom 2	2 949,4	17 170,6	14 221,2	0,83
strom 3	2 381,0	11 393,8	9 012,8	0,78
strom 4	2 378,0	14 985,0	12 607,0	0,84
strom 5	2 607,3	14 843,0	12 235,8	0,82
strom 6	2 079,2	9 976,8	7 897,6	0,79
strom 7	2 831,6	16 101,8	13 270,2	0,82
strom 8	2 606,2	15 126,6	12 520,4	0,83
strom 9	2 285,2	12 831,4	10 546,2	0,82

### Přirozená obnova 2023 - 2. ročník



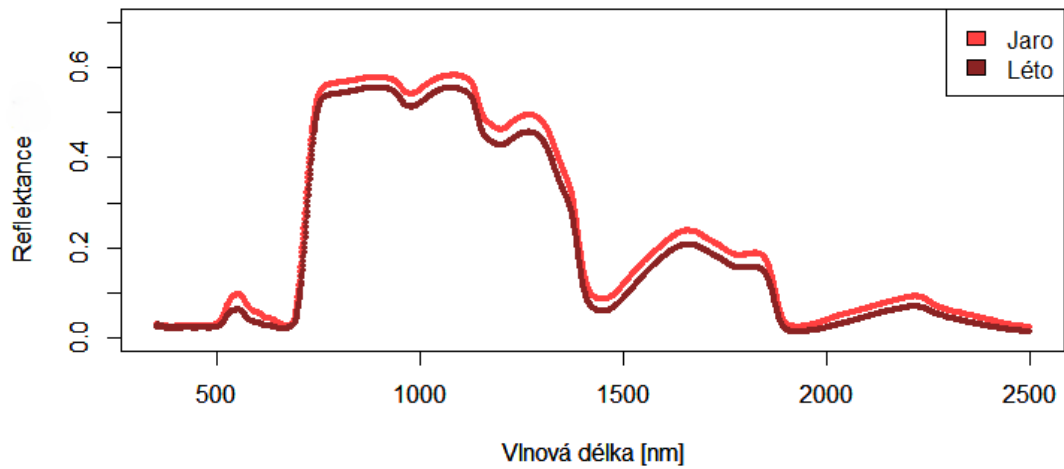
**Příloha 7:** Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu přirozená obnova na jaře a v létě roku 2023, pro 2. ročník jehlic. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

### Clonná seč 2023 - 2. ročník



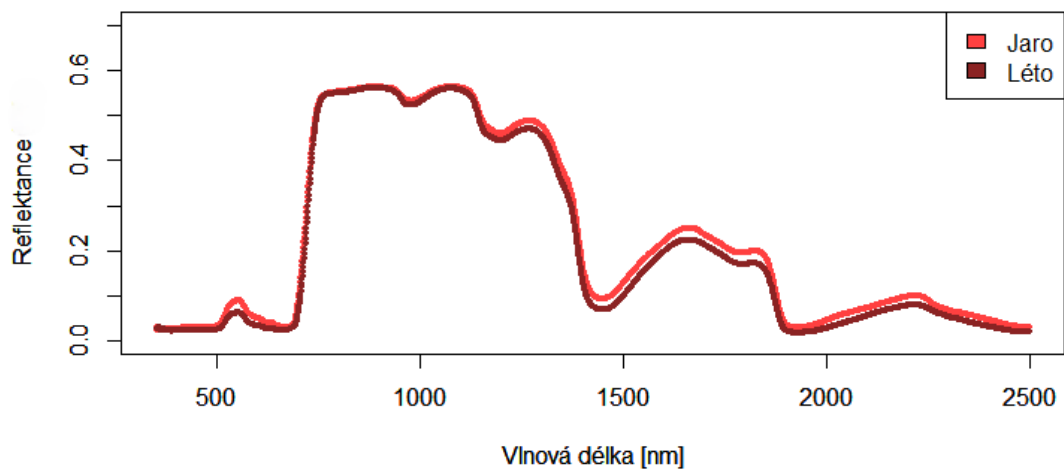
**Příloha 8:** Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu clonná seč na jaře a v létě roku 2023, pro 2. ročník jehlic. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

### Skupinová seč 2023 - 2. ročník



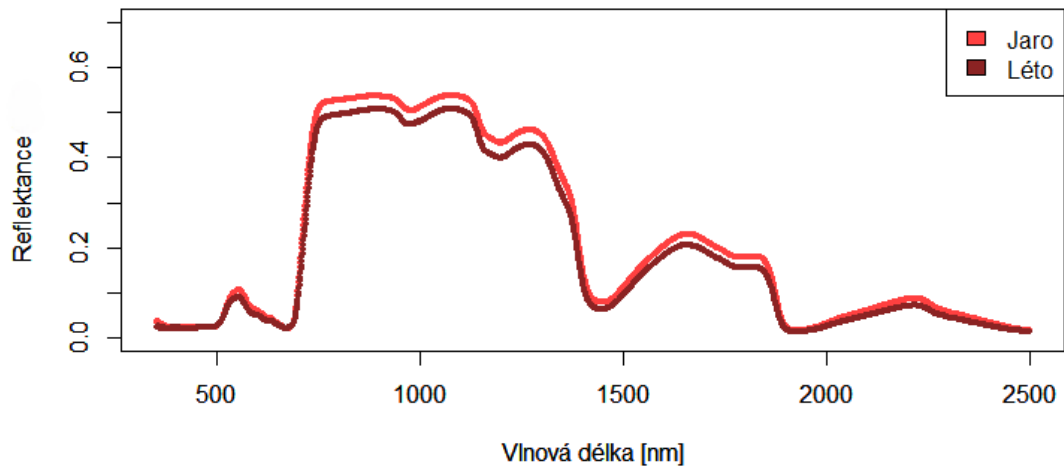
*Příloha 9: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu skupinová seč na jaře a v létě roku 2023, pro 2. ročník jehlic. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.*

### Násečná seč 2023 - 2. ročník



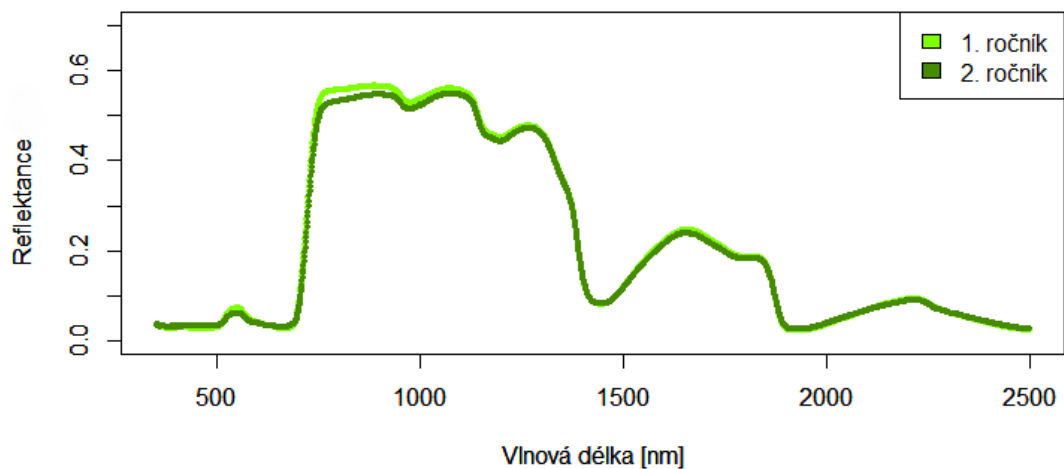
*Příloha 10: Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu násečná seč na jaře a v létě roku 2023, pro 2. ročník jehlic. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.*

### Holá seč 2023 - 2. ročník



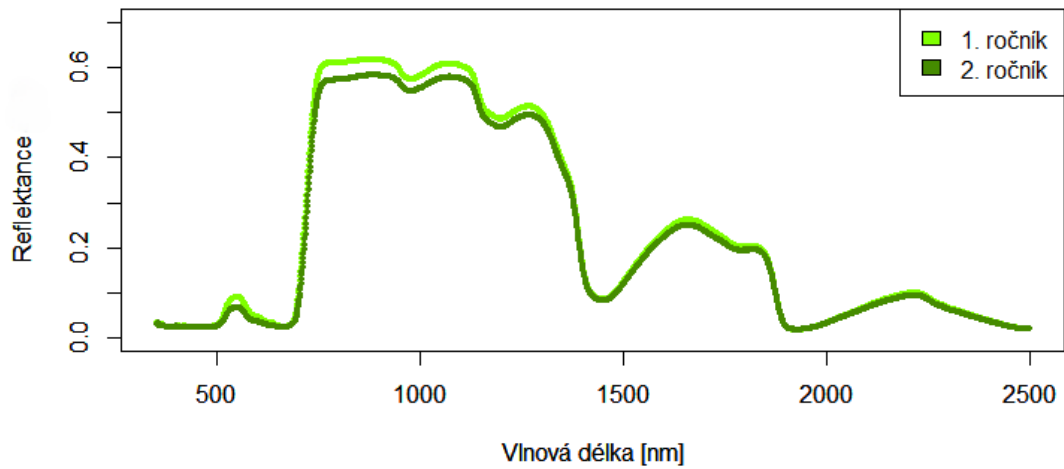
**Příloha 11:** Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu holá seč na jaře a v létě roku 2023, pro 2. ročník jehlic. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

### Přirozená obnova - léto 2023



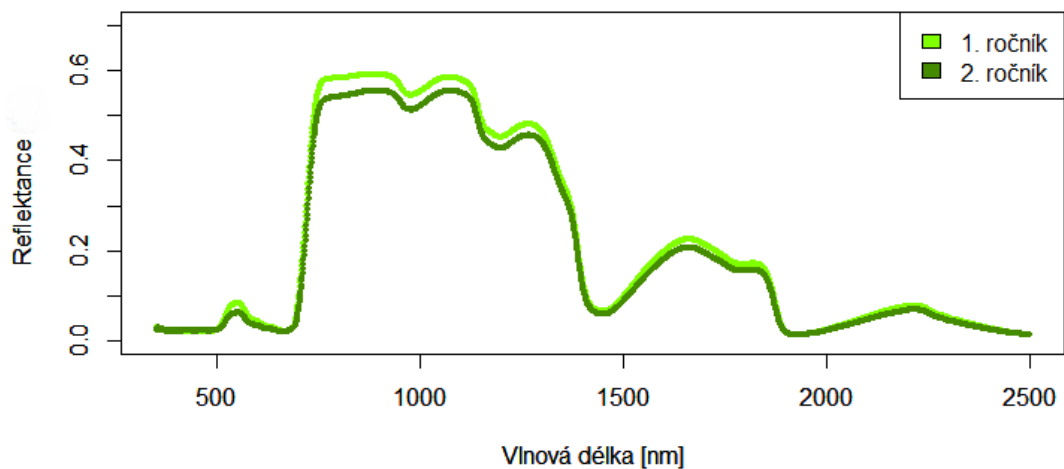
**Příloha 12:** Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu přirozená obnova pro 1. a 2. ročník jehlic odebraných v létě roku 2023. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

### Clonná seč - léto 2023



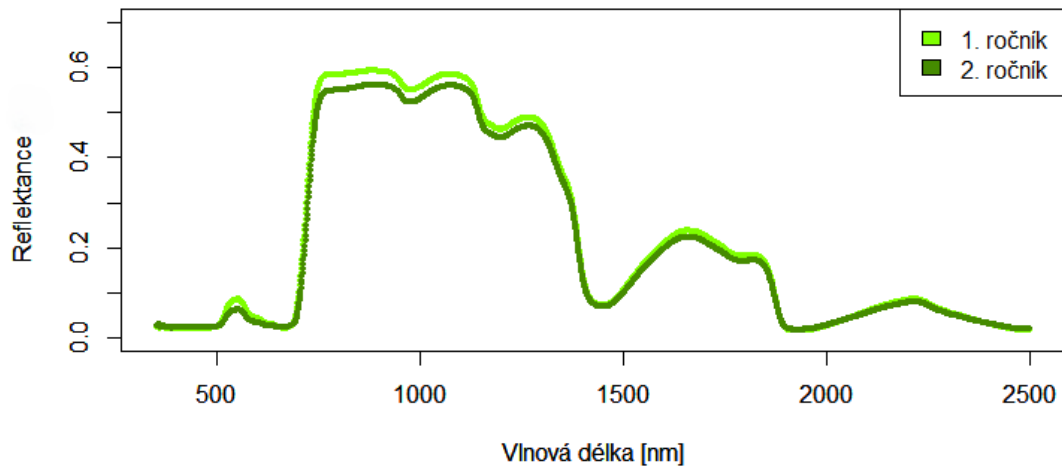
**Příloha 13:** Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu clonná seč pro 1. a 2. ročník jehlic odebraných v létě roku 2023. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

### Skupinová seč - léto 2023



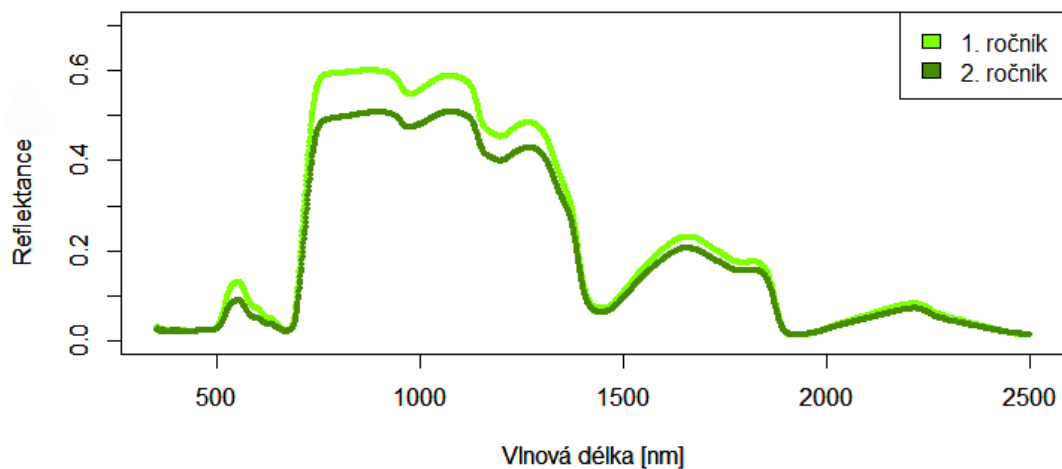
**Příloha 14:** Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu skupinová seč pro 1. a 2. ročník jehlic odebraných v létě roku 2023. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

### Násečná seč - léto 2023



**Příloha 15:** Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu násečná seč pro 1. a 2. ročník jehlic odebraných v létě roku 2023. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

### Holá seč - léto 2023



**Příloha 16:** Křivka odrazivosti vegetace mlazin jedle bělokoré pro lokalitu holá seč pro 1. a 2. ročník jehlic odebraných v létě roku 2023. Na ose x vlnová délka 350-750 nm (VIS); 750-1200 nm (NIR) a 1200-2500 nm (SWIR). Na ose y je vynesena odrazivost jehlic v poměru k bílé referenci.

**Příloha 17:** Souhrnná tabulka pro naměřené hodnoty REIP – pozice inflexního bodu červeného okraje, spektrálních dat odrazivosti vzorků listoví odebraných na jaře roku 2023 pro každou výzkumnou lokalitu zvlášť. Společně

s průměrnými hodnotami REIP jsou zde uvedeny i další hodnoty (medián průměrů, maximální hodnota průměru, minimální hodnota průměru a směrodatná odchylka).

Jaro 2023						
Lokalita	Obnova	Průměrná hodnota REIP	Medián REIP	Max. hodnota REIP	Min. hodnota REIP	Směrodatná odchylka
Holičky	přirozená obnova	677.4939	677.4936	677.4954	677.4928	0.00080
Kocanda 2	clonná seč	677.4910	677.4912	677.4929	677.4884	0.00138
Kocanda 3	skupinová seš	677.4939	677.4939	677.4955	677.4924	0.00092
Kocanda 4	násečná seš	677.4926	677.4931	677.4943	677.4903	0.00141
Znětínek	holá seč	677.4924	677.4927	677.4938	677.4905	0.00127
Hodnoty všech 50. stromů		677.4928	677.4931	677.4955	677.4884	0.00025

**Příloha 18:** Souhrnná tabulka pro naměřené hodnoty REIP – pozice inflexního bodu červeného okraje, spektrálních dat odrazivosti vzorků listoví odebraných v létě roku 2023 (1. ročník) pro každou výzkumnou lokalitu zvlášť. Společně s průměrnými hodnotami REIP jsou zde uvedeny i další hodnoty (medián průměrů, maximální hodnota průměru, minimální hodnota průměru a směrodatná odchylka).

Léto 2023 1. ročník						
Lokalita	Obnova	Průměrná hodnota REIP	Medián REIP	Max. hodnota REIP	Min. hodnota REIP	Směrodatná odchylka
Holičky	přirozená obnova	677.4926	677.4926	677.4951	677.4914	0.00096
Kocanda 2	clonná seč	677.4906	677.4908	677.4925	677.4878	0.00124
Kocanda 3	skupinová seš	677.4911	677.4911	677.4940	677.4886	0.00153
Kocanda 4	násečná seš	677.4910	677.4910	677.4925	677.4897	0.00080
Znětínek	holá seč	677.4899	677.4903	677.4923	677.4861	0.00195
Hodnoty všech 50. stromů		677.4910	677.4910	677.4951	677.4861	0.00041

**Příloha 19:** Souhrnná tabulka pro naměřené hodnoty REIP – pozice inflexního bodu červeného okraje, spektrálních dat odrazivosti vzorků listoví odebraných v létě roku 2023 (2. ročník) pro každou výzkumnou lokalitu zvlášť. Společně s průměrnými hodnotami REIP jsou zde uvedeny i další hodnoty (medián průměrů, maximální hodnota průměru, minimální hodnota průměru a směrodatná odchylka).

Léto 2023 2. ročník						
Lokalita	Obnova	Průměrná hodnota REIP	Medián REIP	Max. hodnota REIP	Min. hodnota REIP	Směrodatná odchylka
Holičky	přirozená obnova	677.4921	677.4920	677.4936	677.4901	0.00087
Kocanda 2	clonná seč	677.4912	677.4916	677.4922	677.4888	0.00106
Kocanda 3	skupinová seš	677.4910	677.4912	677.4925	677.4884	0.00106
Kocanda 4	násečná seš	677.4914	677.4915	677.4920	677.4908	0.00036
Znětínek	holá seč	677.4907	677.4912	677.4921	677.4874	0.00146
Hodnoty všech 50. stromů		677.4913	677.4915	677.4936	677.4874	0.00036