

# INTEGROVANÁ METODIKA

Multispektrální monitorování vegetační dynamiky

s využitím časosběrné RGB kamery Brinno TLC 2020, NIR kamery MAPIR Survey3W OCN a půdních senzorů TMS pro půdní vlhkost a teplotu

Projekt:	<b>Alcedo Frézování</b>
Verze:	1.0
Datum:	únor 2026
Klasifikace:	Interní metodický dokument



# 1. Úvod a cíle metodiky

Tento dokument definuje integrovanou metodiku pro multispektrální monitorování vegetační dynamiky v rámci projektu Alcedo Frézování. Metodika popisuje způsob synergetického využití tří klíčových vrstev senzorických dat: RGB časosběrné kamery Brinno TLC 2020 pro extrakci vegetačních indexů z viditelného spektra, NIR kamery MAPIR Survey3W OCN pro blízkoinfračervenou analýzu a sady půdních senzorů měřících vlhkost a teplotu v různých hloubkách profilu.

Hlavním cílem je kvantifikovat vliv půdního frézování na růstové parametry sazenic prostřednictvím kontinuálního a objektivního měření, které překračuje možnosti jednorázových terénních šetření.

## 1.1 Architektura monitorovacího systému

Monitorovací systém je navržen jako čtyřvrstvá architektura kombinující komplementární datové zdroje:

Vrstva	Senzor	Spektrální rozsah	Primární účel
<b>RGB</b>	Brinno TLC 2020	400–700 nm (VIS)	Fenologie, vizuální vigor, pokryvnost
<b>NIR</b>	MAPIR Survey3W OCN	OCN (850 nm NIR)	NDVI, chlorofyllová aktivita, fyziologický stres
<b>Půdní vlhkost</b>	Senzory TMS 10/20/48 cm	N/A (kapacitivní)	Vodní režim půdního profilu
<b>Teplota</b>	Sensory TMS Půdní + vzduch 10 cm	N/A (termistor)	Tepelný režim, GDD akumulace

## 2. RGB vegetační indexy z kamery Brinno TLC 2020

Kamera Brinno TLC 2020 poskytuje časosběrné snímky ve viditelném spektru (RGB). Přestože se jedná o spotřebitelský snímač, z jeho výstupů lze extrahovat kvantitativní vegetační indexy, které jsou široce využívány v síti PhenoCam a dalších fenologických výzkumných programech.

### 2.1 Definice RGB indexů

Následující tabulka shrnuje vegetační indexy vypočítatelné z RGB kanálů:

Index	Vzorec	Interpretace
<b>GCC</b>	$GCC = G / (R + G + B)$	Green Chromatic Coordinate – základní fenologický index, standard PhenoCam. Normalizovaný podíl zelené složky. Robustní vůči změnám osvětlení.
<b>RCC</b>	$RCC = R / (R + G + B)$	Red Chromatic Coordinate – doplnkový index indikující senescenci (podzimní zbarvení) a stres.
<b>ExG</b>	$ExG = 2G - R - B$	Excess Green Index – zvýrazňuje zelenou vegetaci oproti pozadí. Vhodný pro segmentaci vegetace vs. holá půda.
<b>VARI</b>	$VARI = (G - R) / (G + R - B)$	Visible Atmospherically Resistant Index – odhad frakční zelené vegetace, částečně kompenzuje atmosférické efekty.
<b>GLI</b>	$GLI = (2G - R - B) / (2G + R + B)$	Green Leaf Index – normalizovaná verze ExG. Lepší srovnatelnost mezi snímky různé expozice.
<b>RGBVI</b>	$RGBVI = (G^2 - R \cdot B) / (G^2 + R \cdot B)$	RGB Vegetation Index – nelineární kombinace citlivá na zelený vigor. Vysoká korelace s LAI.

### 2.2 Využití jednotlivých RGB kanálů

Kromě kombinovaných indexů mají jednotlivé barevné kanály vlastní diagnostickou hodnotu:

- Zelený kanál (G):** Nejsilnejší korelace s obsahem chlorofylu a fotosyntetickou aktivitou. Zelená složka je dominantní u zdravé vegetace díky vysoké odrazivosti v pásmu 520–560 nm.
- Červený kanál (R):** Zdravá vegetace absorbuje červenou složku (absorpce chlorofylem). Nárůst R signalizuje stres, nedostatek chlorofylu nebo senescenci.
- Modrý kanál (B):** Citlivý na obsah karotenoidů a antokyanů. Změny v B kanálu mohou indikovat UV stres, fotoprotektivní reakce nebo podzimní pigmentaci.

### 2.3 Kalibrační protokol

Brinno TLC 2020 je spotřebitelská kamera s automatickou korekcemi expozice a vyvážení bílé. Pro zajištění reprodukovatelnosti měření je nezbytný kalibrační protokol:

- Umístění referenčního terče (ColorChecker Passport nebo šedá karta 18%) v trvalém záběru kamery.
- Normalizace RGB hodnot každého snímku vůči referenčnímu terci – korekce na změny osvětlení, oblacnost, úhel slunce.
- Filtrace snímků pořízených za nepříznivých podmínek (déšť, mlženo, sníh na objektivu, noční snímky).

4. Definice fixního ROI (Region of Interest) pro každou experimentální plochu vč. kontrolní referece.

### 3. NIR vrstva – MAPIR Survey3W OCN

Kamera MAPIR Survey3W v konfiguraci OCN (Orange, Cyan, NIR) poskytuje data v blízkém infračerveném spektru (850 nm), což umožňuje výpočet NDVI a dalších NIR-závislých indexů.

#### 3.1 Klíčové NIR indexy

- NDVI = (NIR – R) / (NIR + R)**: Normalizovaný diferenční vegetační index. Standardní metrika fyziologického stavu vegetace.
- NDRE (pokud dostupný Red Edge)**: Citlivější na chlorofyl v saturovaných porostech.
- NIR reflektance**: Absolutní odrazivost v NIR pásmu koreluje s biomasou a strukturou listového pokryvu (LAI).

#### 3.2 Komplementarita RGB a NIR

Zásadní přínos dvoukanálového systému spočívá v časovém rozlišení stresových fází:

Fáze stresu	NDVI (NIR)	GCC (RGB)
<b>Raný stres</b>	Pokles detekovatelný – snížená NIR odrazivost v důsledku úbytku vody v buňkách	Bez změny – vizuálně ještě bez příznaků
<b>Pokročilý stres</b>	Výrazný pokles NDVI	Začíná pokles GCC – žloutnutí viditelné okem
<b>Poškození</b>	NDVI blížící se nule	Výrazný pokles GCC, nárůst RCC
<b>Zotavení</b>	NDVI se zvyšuje před vizuálním zotavením	GCC reaguje opožděně

**Klíčový poznatek:** Časový posun ( $\Delta t$ ) mezi poklesem NDVI a poklesem GCC slouží jako early warning indikátor. Pokud  $\Delta t > 3$  dny, je stres reverzibilní. Pokud  $\Delta t \approx 0$ , došlo k akutnímu poškození.

## 4. Půdní senzory – vlhkost a teplota

Třetí vrstva monitorovacího systému zajišťuje kontinuální měření abiotických podmínek půdního profilu, které přímo podmiňují růstovou dynamiku sazenic.

### 4.1 Konfigurace senzorů

Parametr	Hloubka/Pozice	Jednotka	Význam pro sazenice
Půdní vlhkost (VWC)	10 cm	% obj.	Kořenová zóna sazenic
Půdní vlhkost (VWC)	20 cm	% obj.	Hlubší kořenová zóna
Půdní vlhkost (VWC)	48 cm	% obj.	Zásobní vlhkost profilu
Půdní teplota	Senzor v profilu	°C	Kořenová aktivita, mrazové události
Teplota vzduchu	10 cm nad zemí	°C	Mikroklimatické podmínky, prízemní mrazy

### 4.2 Odvozené metriky

- GDD (Growing Degree Days):** Akumulace tepelných jednotek nad základní teplotou (typicky 5°C). Korelace s fenologickými přechody detekovanými z GCC.
- Gradient vlhkosti ( $VWC_{p0} - VWC_{60}$ ):** Indikátor směru vodního toku v profilu. Kladný gradient = kapilární vzlínání, záporný = percolační odtok.
- Frost events:** Detekovány z teploty vzduchu 10 cm < 0°C. Korelace s náhlými poklesy GCC/NDVI.

## 5. Integrace datových vrstev

### 5.1 Datový model

Všechny datové vrstvy se sbíhají do unifikovaného časového modelu, kde každý záznam odpovídá jednomu časovému kroku (typicky 1 hodina v době solárního poledne):

Datová vrstva	Proměnné	Frekvence	Synchronizace
<b>RGB (Brinno)</b>	GCC, RCC, ExG, VARI, GLI, RGBVI	1×/hod nebo 1×/den	Solární poledne ±2h
<b>NIR (MAPIR)</b>	NDVI, NIR reflektance	Dle kampaně	Párování s RGB časem
<b>Půdní vlhkost</b>	VWC_10, VWC_20, VWC_60	Kontinuálně (15 min)	Průměrování na hodinový krok
<b>Teplota</b>	T_soil, T_air_10cm	Kontinuálně (15 min)	Průměrování na hodinový krok

### 5.2 Analytické scénáře

#### 5.2.1 Dvoukanálová stresová detekce

Kombinací GCC (z Brinno) a NDVI (z MAPIR) lze identifikovat stresové epizody dříve, než by byly detekovány jediným senzorem. NDVI zpravidla reaguje na fyziologický stres o 2–5 dnů dříve než GCC. Monitoring obou metrik současně proto umožňuje rozlišit počáteční (reverzibilní) stres od pokročilého poškození.

#### 5.2.2 Fenologie vs. půdní podmínky

Klíčová výzkumná otázka projektu Alcedo Frézování: Jak půdní frézování ovlivňuje načasování fenologických přechodů sazenic? Metodický přístup:

- Sestavení GCC křivek zvlášť pro frézované a nefrézované plochy (ROI segmentace)
- Korelace fenologických přechodů (SOS – Start of Season, EOS – End of Season) s půdní vlhkostí a teplotou
- Statistické testování rozdílů v načasování a dynamice mezi treatment a kontrolou
- Korelace GDD akumulace s fenologickými milníky

#### 5.2.3 Povrchová dynamika půdy

RGB časosběr z Brinno kamery má unikátní schopnost zachytit vizuální změny povrchu půdy, které NIR kamera nedokáže rozlišit tak dobře. Zásadní jsou:

- Sledování rozpadu povrchového mulče a organického materiálu po frézování
- Kvantifikace poměru zelené plochy vs. holá půda v čase (fractional green cover)
- Detekce erozních jevů a změn mikrotopografie
- Dokumentace záplavových / zastagňování epizod

#### 5.2.4 Korelace s vodním režimem

Integrace půdní vlhkosti s vegetačními indexy umožňuje kvantifikovat responzivitu sazenic na vodní stres. Specificky se analyzuje časová odezva GCC na poklesy VWC\_10 pod bod sníženej dostupnosti (wilting point), vliv gradientu vlhkosti (VWC\_10 vs. VWC\_60) na stabilitu vegetačního vigoru a diferenciální reakce frézovaných vs. nefrézovaných ploch na srážk-déficitní periody.



## 6. Zpracovatelský řetězec (Processing Pipeline)

Zpracování dat probíhá v následujících krocích:

### 6.1 Předzpracování RGB snímků

1. Načtení časosběrných snímků z Brinno TLC 2020 (formát AVI/JPEG)
2. Extrakce jednotlivých frameů s časovým razítkem
3. Kalibrace R, G, B kanálů pomocí referenčního terče
4. Filtrace nekvalidních snímků (noční, dešť, sníh, mlha)
5. Výřez ROI pro každou experimentální plochu
6. Výpočet průměrných R, G, B hodnot v ROI
7. Výpočet vegetačních indexů (GCC, RCC, ExG, VARI, GLI, RGBVI)

### 6.2 Zpracování NIR dat

1. Radiometrická kalibrace MAPIR Survey3W pomocí referenčního panelu
2. Výpočet NDVI pro každý snímek
3. Prostorové párování ROI s RGB snímky (georeferencing)
4. Časové párování s nejbližším RGB snímkem

### 6.3 Fúze datových vrstev

Všechny datové proudy se sloučí do jediného časové řady (DataFrame). Každý řádek odpovídá jednomu měřicímu kroku a obsahuje: časové razítko (timestamp), identifikátor plochy (frézovaná / kontrola), všechny RGB indexy, NDVI hodnotu (pokud je k dispozici), VWC\_10, VWC\_20, VWC\_60, T\_soil a T\_air\_10cm. Interpolace chybějících hodnot se provádí lineární metodou s maximální mezerou 4 hodiny.

### 6.4 Analytické výstupy

- **Časové řady:** Vizualizace GCC, NDVI, VWC, teploty v čase pro každou plochu
- **Fenologické metriky:** SOS, POS (Peak of Season), EOS detekce pomocí sigmoidálních modelů na GCC křivkách
- **Korelační matice:** Pearsonovy/Spearmanovy korelace mezi všemi proměnnými
- **Krizové analýzy:** Identifikace a klasifikace stresových epizod dle typu (vodní stres, mrazové poškození, tepelný stres)
- **Porovnání treatment:** Statistické testy (t-test, ANOVA, Mann-Whitney) mezi frézovanými a kontrolními plochami

## 7. Doporučení pro terénní rozmístění

### 7.1 Brinno TLC 2020

- Instalace na stativu nebo konzole ve výšce 3-5 m se šikmým pohledem na monitorovanou plochu
- Orientace senzoru směrem na sever pro minimalizaci přímých slunečních záblesků (v našich zeměpisných šířkách)
- Nastavení intervalu snímkování: 1 snímek/hodina pro detailní analýzy, 1 snímek/den pro dlouhodobý monitoring
- Referenční terč umístěný v rovině viditelné z pozice kamery
- Kontrola objektivu a výměna baterií dle potřeby (výdrž Brinno cca 80 dnů na AA baterie)

### 7.2 MAPIR Survey3W OCN

- Umístění v blízkosti Brinno kamery pro maximální překryv záběru
- Kalibrační snímek referenčního panelu před každou měřící kampaní
- RAW formát pro maximální radiometrický rozsah

### 7.3 Půdní senzory

- Instalace v párovém uspořádání: frézovaná plocha + kontrolní plocha
- Minimální vzdálenost 50 cm od okrajů experimentálních ploch pro eliminaci edge efektu
- Senzor teploty vzduchu 10 cm ve stínítku (radiation shield)

## 8. Závěr a očekávané přínosy

Integrace RGB časosběrné kamery Brinno TLC 2020 do monitorovacího systému představuje nákladově efektivní cestu k výraznému rozšíření analytických schopností projektu Alcedo Frézování. Kombinací RGB vegetačních indexů s NIR daty z MAPIR Survey3W OCN a kontinuálním monitoringem půdních podmínek vzniká komplexní obraz ekosystémové dynamiky, který umožňuje:

- Objektivní kvantifikaci vlivu půdního frézování na růst sazenic
- Včasnou detekci stresových stavů díky dvoukanálovému (RGB + NIR) monitoringu
- Pochopení kauzálních vztahů mezi půdními podmínkami a vegetační odzvou
- Generování publikáčně využitelných dat s vysokou časovou rozlišovací schopností

*Metodika je živým dokumentem a bude aktualizována na základě zkušeností z první vegetační sezóny monitorování.*