

# 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, chlorofylová aktivita, fyziologický stres
<b>Půdní vlhkost</b>	Senzory TMS 10/20/48 cm	N/A (kapacitvní)	Vodní režim půdního profilu
<b>Teplota</b>	Senzory 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):** Nejsilnější 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:

1. Umístění referenčního terče (ColorChecker Passport nebo šedá karta 18%) v trvalém záběru kamery.
2. Normalizace RGB hodnot každého snímku vůči referenčnímu terči – korekce na změny osvětlení, oblačnost, úhel slunce.
3. 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, přízemní 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 vztlínání, 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 snížené dostupnosti (wilting point), vliv gradientu vlhkosti (VWC\_10 vs. VWC\_60) na stabilitu vegetačního vigoru a diferenciální reakce frézovaných vs. nefrézovaných ploch na srážk-děficitní 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 nekvalitních 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 rovinně 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 měřicí 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 odezvou
- Generování publikačně využitelných dat s vysokou časovou rozlišovací schopností

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