

Palynologická odozva lesných drevín na zmenu klímy: bioklimatologické modelovanie rizika asynchronizácie opeľovačov

Ľubomír Korený¹ – Michaela Korená Hillayová² - Jaroslav Škvarenina³

^{1, 2, 3} Katedra prírodného prostredia, T. G. Masaryka 24, Technická univerzita vo Zvolene, 960 01 Zvolen, SR,
¹xkoreny@tuzvo.sk, ²jaroslav.skvarenina@tuzvo.sk

Úvod

Hydrometeorologická zabezpečenosť hlavných lesných drevín v podmienkach Západných Karpát predstavuje primárny rámec, ktorý v kontexte meniacej sa klímy určuje ich fyziologickú stabilitu a následnú fenologickú odozvu. Premennivá distribúcia zrážok a narastajúci vodný deficit sa stávajú kľúčovými limitujúcimi faktormi, ktoré modifikujú načasovanie kvitnutia nad rámec vplyvu samotnej teploty. Integrácia týchto hydrických ukazovateľov do bioklimatologického modelu tak umožňuje presnejšie identifikovať kritické momenty, kedy kumulatívny environmentálny stres vyúsťuje do fenologického mismatchu medzi drevinami a ich opeľovačmi.

Východiská, ciele a hypotézy

Oblasť	Popis
Východiská	Klimatická zmena a hydrometeorologická zabezpečenosť zásadne menia fenologické načasovanie kvitnutia rastlín. Vzniká riziko fenologického mismatchu (asynchronizácie) medzi ponukou peľu z drevín a aktivitou opeľovačov.
Hlavný cieľ	Kvantifikovať fenologickú odozvu lesných drevín regiónu Javorie/Ostrôžky pomocou palynologického monitoringu včiel (2025 – 2027) a vyvinúť predikčný model rizika mismatchu.
Špecifické ciele	Č1–Č3 (Analýza): Monitoring peľovej znášky a identifikácia klimatických spúšťačov (<i>GDD</i>) Č4–Č5 (Modelovanie): Kalibrácia bioklimatologického modelu a simulácia rizika asynchronizácie.
Definícia mismatchu	$M = D_{dopyt} - D_v$ (rozdiel v dňoch medzi vrcholom dopytu a vrcholom ponuky).

Metodika zberu dát (Čo, Kedy, Kde, Ako)

Typ Dát / Účel	Čo sa zbiera	Kedy / Frekvencia	Kde / Ako
Dopyt včiel (<i>D_{dopyt}</i>)	Teplota plodu (MAX), Prírastok hmotnosti úľa.	1. marec – 30. jún (Hodinovo/Denne)	Experimentálna včelnica, interné senzory, digitálne váhy.
Ponuka peľu (Proxy <i>D_v</i>)	Hmotnosť peľu z peľochytov.	1. marec – 30. jún (Denne)	Experimentálna včelnica, peľochyty.
Sila kolónie (Homogenita)	Plocha plodu (<i>cm</i> ²), počet obsadených rámkov.	1. marec – 30. jún (Dvojtýždenne)	Vizuálna kontrola, program na výpočet plochy plodu Combcount - Colin et al. (2018).
Kvalita peľu (Taxonómia)	Taxón (Rod/Druh) dominantného peľu.	Vzorky 1. marec – 30. jún (Týždenne)	Laboratórium, mikroskopia, PalDat/Atlasy.
Ponuka peľu (Ground Truth <i>D_v</i>)	Dátum vrcholu kvitnutia (PFD) cieľovej dreviny (napr. <i>Salix sp.</i>).	1. marec – 30. apríl (Ročne)	Terénne vizuálne pozorovania.
Meteorologické vstupy (<i>GDD, C</i>)	<i>T_{max}</i> , <i>T_{min}</i> , zrážky, <i>T_{pôda}</i> (v 5 cm), rýchlosť vetra, slnečné žiarenie	Celoročne (1. január – 31. december) (Denne)	Lokálna meteo stanica / SHMÚ.
Historické dáta (Riziko)	Historické <i>T_{max}/T_{min}</i> , Historická fenológia (ak dostupná).	Minimálne 30 rokov (napr. 1993 – 2025)	Externé databázy (SHMÚ, E-OBS).

Analytické kroky a kľúčové vzorce

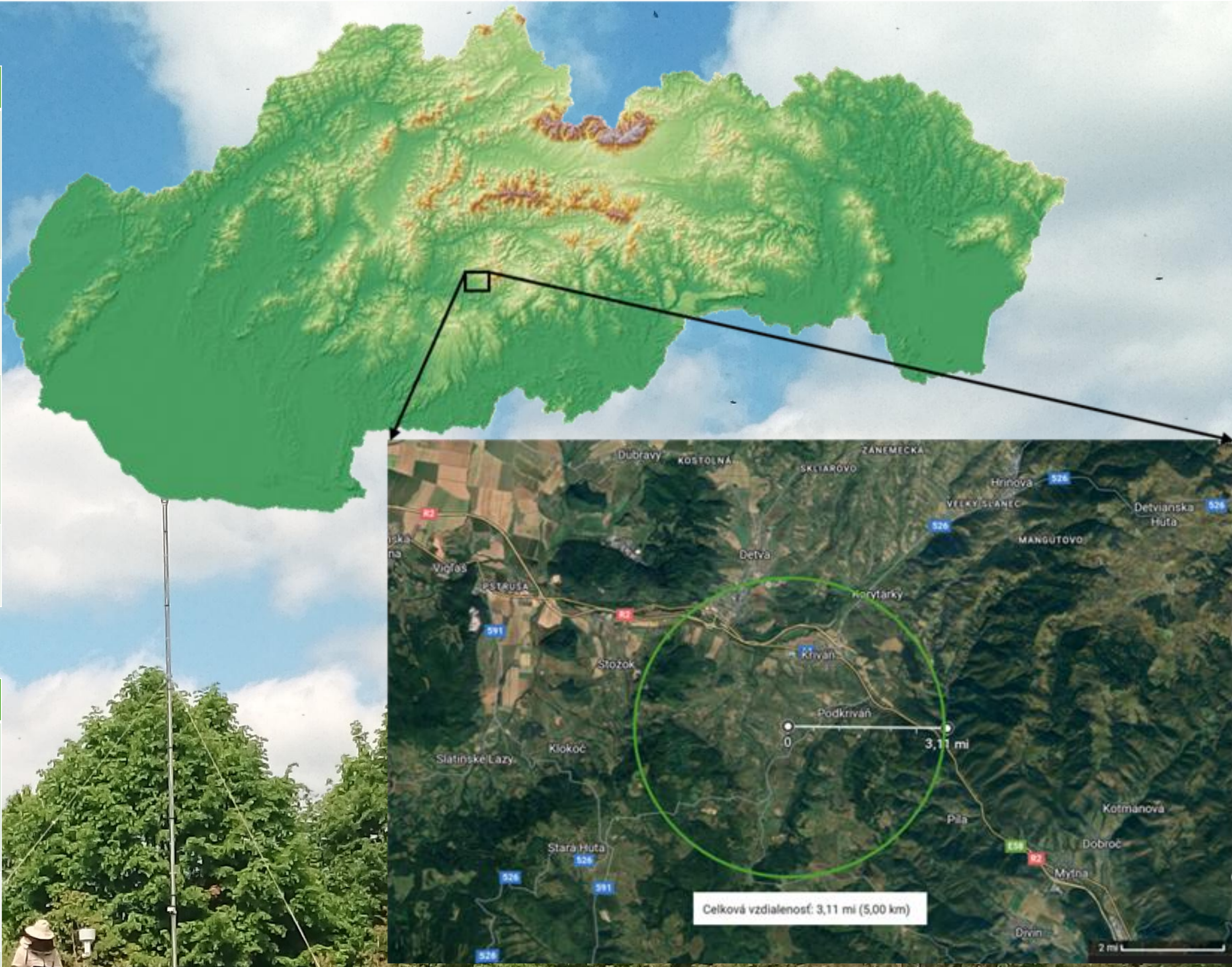
Analytický Krok / Cieľ	Čo sa počíta	Kľúčový Vzorec / Metóda
Definícia <i>D_{dopyt}</i>	<i>DOY</i> vrcholu dopytu včiel.	7-dňový kľzavý priemer teploty plodu + max. denný prírastok hmotnosti úľa.
Kvantifikácia Chill Units (<i>C</i>)	Kumulované Chladové jednotky.	Dynamický model (výpočet z <i>T_{min}</i>).
Kalibrácia <i>GDD_{krit}</i> (Č3)	Optimálna <i>T_{base}</i> a <i>GDD_{krit}</i> pre cieľový druh.	Regresná analýza (<i>GDD_{CUMUL}</i> ~ <i>D_v</i> (rastlina)) po splnení <i>C</i> .
Fenologická citlivosť (Č4)	Koeficient <i>b</i> (posun fenofázy na 1°C).	Lineárna regresia: $D_v = a + b \cdot \bar{T}_{jar} + \varepsilon$.
Výpočet mismatchu (Č5)	Asynchronizácia v dňoch (<i>M</i>).	$M_{včely} = D_{dopyt} - D_v(peľochyt)$ (Mismatch podľa včiel) $M_{rastlina} = D_{dopyt} - D_v(rastlina)$ (Mismatch podľa Ground Truth)
Modelovanie rizika (Č5)	Predikcia budúceho <i>M</i> .	Aplikácia kalibrovaného modelu (<i>GDD_{krit}</i> a <i>b</i>) na historické a projektované klimatické dáta.

Dôležité vysvetlenia

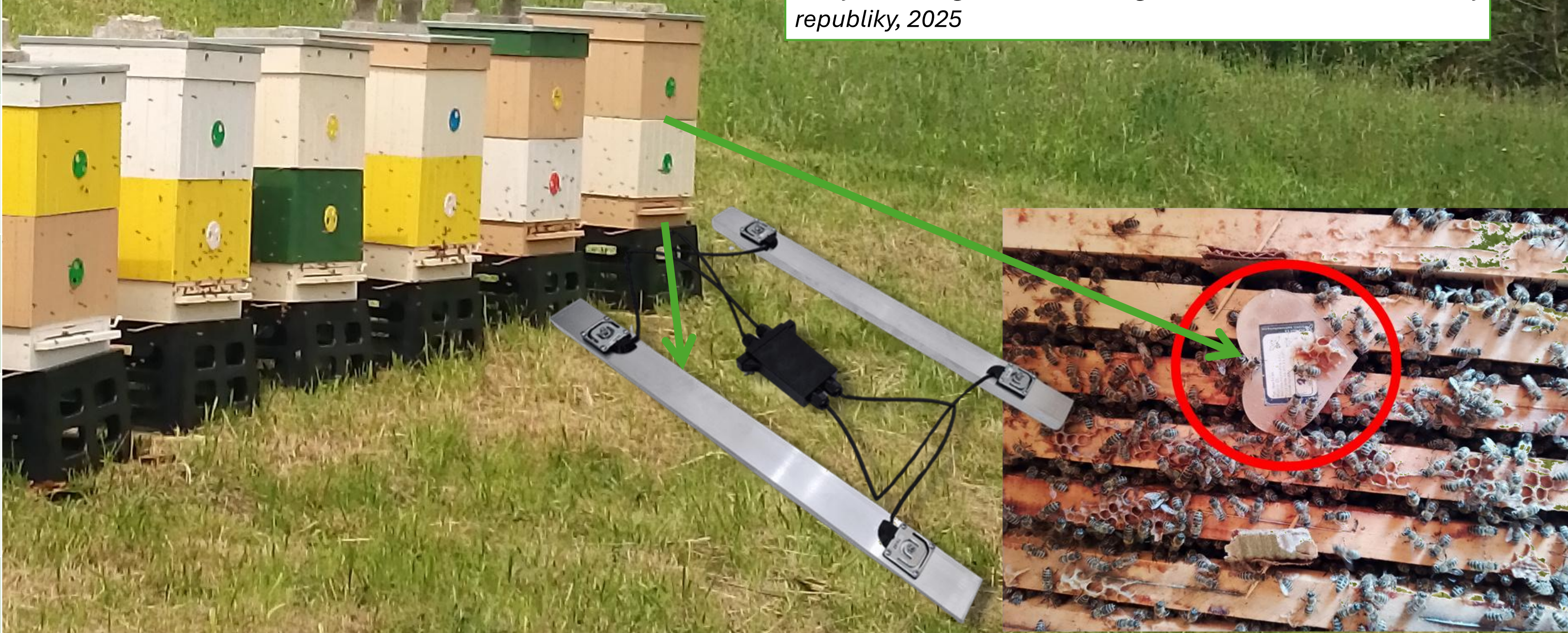
Koncept	Vysvetlenie
Tlmiace mechanizmy (Buffering)	Prirodzené mechanizmy, ktoré zmierňujú negatívne dopady mismatchu. Fungujú buď znížením miery asynchronizácie (napr. fenotypová plasticita) alebo znížením škôd (<i>fitness costs</i> – napr. vďaka širokej škále alternatívnych zdrojov potravy).
Informačný mismatch	Situácia, kedy druh stratí schopnosť spoľahlivo použiť klimatické signály (cues) na presnú predikciu načasovania zdroja (napr. spoľahnutie sa na nesprávny signál).

Podakovanie projektom

Autori ďakujú programu EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti pre Slovensko v rámci projektu č. 09I03-03-V04-00380 (<https://enviherb.tuzvo.sk/>), a Vedeckej agentúre Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže SR a Slovenskej akadémie vied (VEGA) v rámci projektov VEGA 1/0443/23 a VEGA 1/0562/24.



Obr. 2. Digitálne prístroje na zber a spracovanie klimatických dát.



Obr. 3a), b). Digitálne prístroje na zber biometrických dát (úľová váha – vľavo, srdce úľa - vpravo). Autor fotografií: Ľubomír Korený

Očakávané výsledky a prínosy výskumu

Oblasť	Kľúčový výstup	Vedecký a aplikačný prínos
Bioindikácia	Kvantifikovaná korelácia medzi štruktúrou krajiny (GIS) a dennou hmotnosťou peľu.	Potvrdenie validity včiel ako biologických monitorov fenofáz lesa.
Modelovanie	Kalibrovaný <i>GDD</i> model s vypočítanou fenologickou citlivosťou (<i>b</i>).	Získanie regionálne špecifických parametrov pre lokalitu Javorie/Ostrôžky.
Riziko mismatchu	Stanovenie časového rozdielu (<i>M</i>) medzi ponukou krajiny a dopytom včelstiev.	Identifikácia zraniteľnosti ekosystému a odhad krajinnoeekologickej straty.
Adaptácia	Súbor manažmentových odporúčaní pre lesnícku a včelársku prax.	Nástroje na zmiernenie dopadov klimatickej zmeny v kritickom polomere 5 km.