

OPTIMALIZACE PŘEDPOVĚDNÍCH MODELŮ VÝVOJE CHOROB A ŠKŮDCŮ NA ZÁKLADĚ ROZDÍLNÝCH TEPLOTNÍCH POMĚRŮ VE VÝSADBĚ ŠTÍHLÝCH VŘETEN JABLONÍ

OPTIMIZATION OF PREDICTIVE MODELS OF DISEASE AND PEST DEVELOPMENT BASED ON DIFFERENT TEMPERATURE CONDITIONS IN THE PLANTING OF SLENDER SPINDLES OF APPLE TREES

Tomáš Litschmann¹, Radek Vávra²

¹ AMET – Sdružení Litschmann & Suchý, Velké Bílovice

² VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OVOCNÁŘSKÝ HOLOVOUSY s.r.o.,
Holovousy 129, 508 01, Holovousy

email: radek.vavra@vsuo.cz, ORCID 0000-0001-6035-8993

ABSTRAKT

Předpovědní modely pro predikci vývoje chorob a škůdců jsou založeny na měření meteorologických dat, jako je teplota, srážky, délka ovlhčení listů a podobně. Z těchto hodnot jsou potom modelovány předpovědi vývoje jednotlivých vývojových stádií škůdců a vhodné podmínky pro infekce patogenů. Pěstitelské systémy jabloní se v posledních letech výrazně změnily. Nové výsadby jsou v zahuštěnějším sponu, jsou zakrývány sítěmi proti kroupám. Všechny tyto změny mají vliv na mikroklima výsadeb a tím i na vývoj chorob a škůdců. Ve velké většině do nich jako proměnná veličina vstupuje teplota vzduchu měřená na nejbližší meteorologické stanici ve výšce 2 m nad povrchem. Nelze však předpokládat, že i modelování hmyzí škůdci se vyskytují přesně v této výšce. Cílem této studie bylo posoudit, jak se zjištěné rozdíly teplot a jejich denní průběhy v jednotlivých úrovních výšky výsadeb projeví ve výsledných hodnotách teplotních sum, které jsou nejčastěji používány pro modelování vývoje hmyzích škůdců v ovocných sadech. Bylo zjištěno, že pro hodinové průměrné teploty nad prahovou hodnotou 5 °C se rozdíly pohybovaly téměř po celé vegetační období od dubna až do počátku září v rozmezí ± jeden den. Ve výšce 3 m byly po celou dobu teplotní sumy o něco vyšší. Konkrétní suma byla tudíž dosažena přibližně o jeden den dříve, zatímco ve výšce 0,5 m byla nižší, takže tato hodnota byla dosažena o necelý den později. U ostatních modelů založených na sumách denních stupňů +5 °C nebo na sumách denních i hodinových stupňů +10 °C byly rozdíly 2–3 dny.

Klíčová slova: meteorologická data, sumy teplot, ochrana rostlin, *Malus domestica*, pěstitelské systémy

ABSTRACT

Forecasting models for predicting the development of diseases and pests are based on the measurement of meteorological data such as temperature, precipitation, duration of leaf wetness etc. Predictions of the development of individual developmental stages of pests and suitable conditions for pathogen infections are then modelled from these values. Cultivation systems for growing apple trees have changed significantly in recent years. New plantings are in a high density, apple plantings are covered with anti-hail nets. All these changes have an effect on the microclimate of the plantings and thus also on the development of pests and pathogens. In majority, the air temperature measured at the nearest meteorological station at a height of 2 m above the surface enters in models as a variable. However, it cannot be assumed that even modelled insect pests occur exactly at this height. The aim of this study was to assess how the detected temperature differences and their daily course in individual planting height levels will be reflected in the resulting values of temperature sums, which are most often used for modelling the development of insect pests in orchards. It was found, that for hourly average temperatures above the 5 °C threshold, the differences ranged within \pm one day for almost the entire growing season from April to early September. At a height of 3 m, the temperature totals were slightly higher throughout. The specific amount was therefore reached approximately one day earlier, while at 0.5 m it was lower, so this value was reached less than a day later. For other models based on sums of daily degrees +5 °C or sums of daily and hourly degrees +10 °C, the differences were 2–3 days.

Keywords: meteorological data, sums of temperature, plant protection, *Malus domestica*, growing systems

ÚVOD

Pěstitelské systémy jabloní v komerčních výsadbách se v posledních desetiletích výrazně změnily. Z důvodů optimalizace výnosů a kvality ovoce byly tradiční výsadby stromů na silně rostoucích podnožích nahrazeny nižšími tvary na méně vzrůstných podnožích. Nové výsadby jsou v zahuštěnějším sponu. Výsadby jabloní jsou navíc zakrývány sítěmi proti kroupám z důvodů zabránění ztrát výnosu tímto nebezpečným hydrometeorem. Všechny tyto změny mají vliv na mikroklima výsadeb a tím i na vývoj škůdců a rozvoj patogenů. Zvolené pěstitelské systémy mohou mít rozdílný vliv na jednotlivá vývojová stádia škůdců, neboť teplota hraje zásadní roli při vývoji studenokrevných organismů. Na tomto předpokladu jsou založeny nejrůznější teplotní modely podpůrných rozhodovacích systémů pro predikci vývoje škodlivých organismů v průběhu vegetačního období. Dosud používané sumy teplot jsou v poslední době u ovocných stromů nahrazovány simulačními modely k předpovědi fenologie škůdců a patogenů a tím k usnadnění načasování managementu opatření na ochranu. Široce rozšířena je předpovědní platforma RIMpro pro modelování vývoje škůdců a infekcí chorob, která byla vyvinuta v 90. letech minulého století pěstitelem Markem Trapmenem (RIMpro 2023). Tato platforma byla po desetiletí dále vyvíjena, doplňována o další škůdce a choroby pro optimalizaci načasování regulačních zásahů v ovocných sadech a ve vinicích. Od roku 2021 zastřešuje platformu RIMpro francouzská skupina Albatros, která nadále systém modernizuje. Ve Švýcarsku je používán předpovědní systém

SOPRA s cílem optimalizovat načasování monitorování a opatření proti škůdcům v ovocných sadech (Samietz *et al.* 2007). Ve velké většině do nich jako proměnná veličina vstupuje teplota vzduchu měřená na nejbližší meteorologické stanici ve výšce 2 m nad povrchem. Středa *et al.* (2011) uvádějí, že teploty naměřené v jabloňovém sadu a v nejbližší klimatologické stanici vykazují rozdíly v průměru 0,2 °C. Podobný závěr zaznamenali Fukalová *et al.* (2010), rozdíl průměrné roční teploty vzduchu uvádějí 0,3 °C (vyšší teplota na stanici než v sadu). Nelze však předpokládat, že i modelování škůdci se vyskytují přesně ve výšce 2 m, ve které se teplota měří. Vzniká tedy otázka, jaká je variabilita a rozložení teplot vzduchu v jednotlivých výškových úrovních v prostoru sadu a jak se projevuje v konečné signalizaci. U některých druhů škůdců probíhá vývoj po určitou dobu i v prasklinách kůry ovocných stromů, popřípadě na plodech nebo uvnitř plodů.

Předložený příspěvek vyhodnocuje rozložení teploty vzduchu v jednotlivých výškových úrovních ve výsadbě jabloní ve tvaru štíhlého větene v průběhu roku a její vliv na výslednou hodnotu teplotní sumy stanovené různými metodami. Rovněž si všímá povrchové teploty kůry kmene ve výšce 1 m orientované jižním směrem na možnou odchylku v signalizaci stanovené pouze na základě teploty okolního vzduchu.

MATERIÁL A METODY

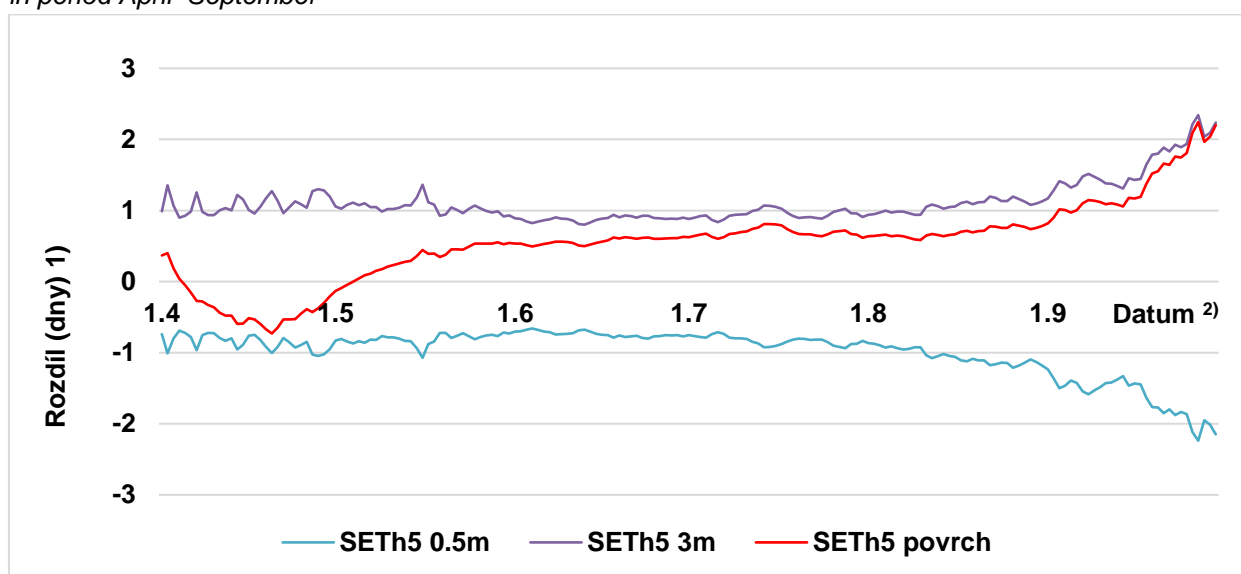
Hodnocení bylo provedeno ve výsadbě jabloní (*Malus domestica* Borkh.) společnosti Pomona a.s. v Těšeticích, okres Znojmo. Nadmořská výška výsadby je 268 metrů. Měření teplot probíhalo v bloku jabloní s řadami orientovanými ve směru přibližně východ – západ. Jedná se o výsadbu odrůdy 'Gala'/M9 z roku 2005 ve tvaru štíhlého větene ve sponu 3,6 × 1 m, s výškou stromů cca 3,5 m, se zatravněnými meziřadími. Digitální teploměry typu DS18B20 (Dallas Semiconductor Corporation, Dallas, USA) v radiačních krytech byly umístěny v řadách jabloní ve výškách 0,5; 1 a 3 m nad terénem. Naměřené údaje o teplotě byly použity pro výpočet hodinových, denních a měsíčních průměrů. Následně byly určeny součty hodinových a denních efektivních teplot nad 5 °C (SET5; SETh5) a nad 10 °C (SET10; SETh10). Teplota povrchu kůry byla měřena infračerveným teploměrem OS211-LT (Omega Engineering Inc., Norwalk, USA). V období, kdy nejsou stromy olistěny, byl měřený povrch kůry plně vystaven slunečním paprskům. Měření probíhalo po dobu šesti let (2015 až 2020). Data z teploměrů byla zaznamenávána každých 10 min do dataloggeru MeteoUni (AMET Velké Bílovice, Česká republika). Vyhodnocení bylo zaměřeno na porovnání rozdílů teplot v jednotlivých měřených výškách včetně povrchu kůry stromů s ohledem na ovlivnění vypočítané hodnoty sumy efektivních teplot.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Naším cílem bylo posoudit, jak se zjištěné rozdíly teplot a jejich denní průběhy v jednotlivých úrovních projeví ve výsledných hodnotách teplotních sum, které jsou nejčastěji používány pro modelování vývoje hmyzích škůdců v ovocných sadech. Jelikož prosté rozdíly v dosažených hodnotách jednotlivých teplotních sum nemají příliš velkou praktickou vypovídací schopnost, byly tyto rozdíly pro konkrétní den od výšky 1 m přepočítány na odchylku ve dnech vydělením průměrnou změnou teplotní sumy ve výšce 1 m oproti předcházejícímu dni. Tak bylo stanoveno, o kolik dnů se bude lišit signalizace provedená na základě teplot vzduchu ve výšce 1 m od teploty

ve zbývajících úrovních, popřípadě jak velkého rozdílu ve dnech bude dosaženo, pokud se nevezme v úvahu vývoj hmyzu pod povrchem kůry. Porovnávány byly odchylky pro denní a hodinové sumy efektivních teplot nad 5 a 10 °C. Pro každou prahovou teplotu a období průměrování byly dosaženy poněkud jiné výsledky, jak je vidět z grafů 1–4. Nejvíce konzistentních výsledků bylo dosaženo pro hodinové průměrné teploty nad prahovou hodnotou 5 °C (graf 1), kdy se rozdíly pohybovaly téměř po celé vegetační období od dubna až do počátku září v rozmezí ± jeden den. Ve výšce 3 m byly po celou dobu teplotní sumy o něco vyšší. Konkrétní suma byla tudíž dosažena přibližně o jeden den dříve, zatímco ve výšce 0,5 m byla nižší, takže tato hodnota byla dosažena o necelý den později.

Graf 1. Odchylka hodinových teplotních sum efektivních teplot nad 5 °C (SETh5) v období duben–září
Figure 1. Deviation of hourly temperature sums (GDH) of effective temperatures above 5 °C (SETh5) in period April–September



1) Difference (days), 2) Date

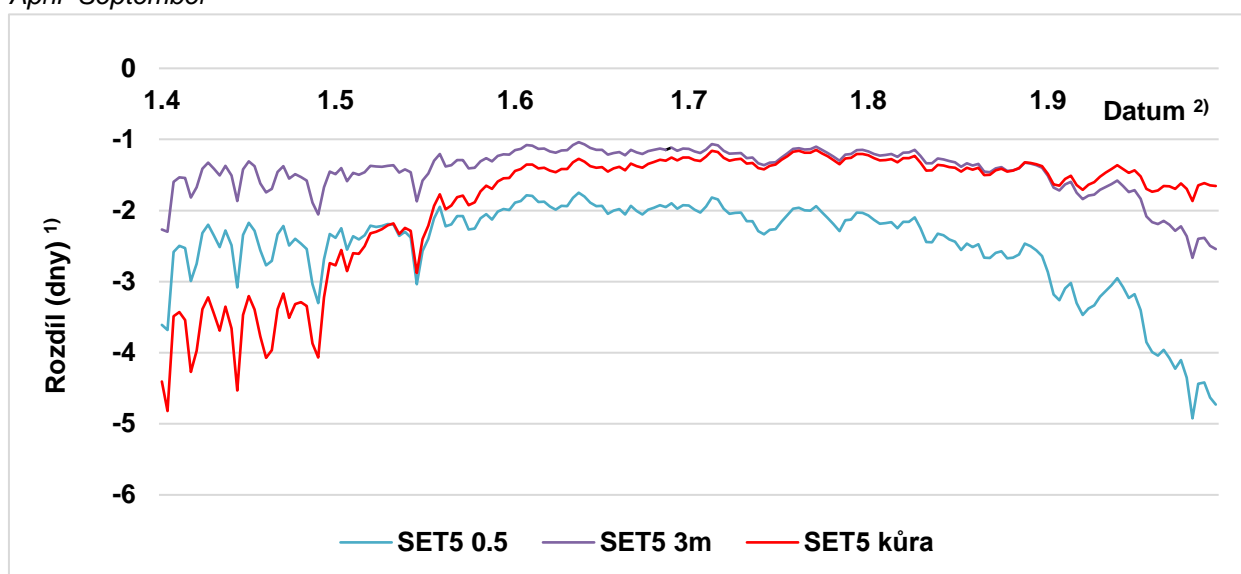
U teplotní sumy stanovené na základě teploty povrchu kůry bylo pozorováno nejprve malé opoždění v průběhu dubna a následně mírné urychlení v dubnu a dalších měsících. Výsledný rozdíl byl jen o něco větší než jeden den, jednalo se o prakticky zanedbatelný rozdíl. Přestože bylo výše konstatováno, že průměrné nejvyšší teploty se vyskytují v úrovni 1 m nad zemí, vyšší hodnoty teplotních sum ve výšce 3 m a na povrchu kůry souvisí s jejich denním průběhem. Teplota nad 5 °C nastupuje ve stejný časový okamžik jako v jiných úrovních, avšak pod 5 °C se odpoledne dostává o několik hodin později. Tento posun i přes nižší maximální hodnotu v odpoledních hodinách způsobuje, že suma teplot nad 5 °C je takto vyšší.

Při výpočtu sumy efektivních teplot nad 5 °C z denních průměrných hodnot (graf 2) se již projevuje skutečnost, že tyto teploty jsou ve výšce 3 m a 0,5 m většinou nižší než v úrovni 1 m a nižší je rovněž i teplota povrchu kůry v jarních měsících. Proto odchylky vyjádřené ve dnech ukazují, že konkrétní suma je dosahována na těchto místech později než ve výšce 1 m. Největší odchylky jsou zaznamenávány na začátku vegetace a postupně se zmenšují v souvislosti s tím,

jak se teplota povrchu kůry přibližuje a postupně i převyšuje teplotu vzduchu v 1 m. Ve výšce 3 m je odchylka po celou dobu nejnižší a dosahuje od jednoho do dvou dnů. Ve výšce 0,5 m je o něco vyšší a pohybuje se od 2 do tří dnů. Za povšimnutí stojí výraznější anomálie u všech křivek přibližně v polovině května, související se singularitou označovanou jako „ledoví muži“, která se ve sledovaných letech téměř pravidelně v daném období vyskytovala a při níž docházelo ke zpomalení nárůstu denních sum efektivních teplot. Tudíž i stejný rozdíl v sumách jednotlivých teplot v tomto termínu po vydělení tímto přírůstkem zvyšuje rozdíl ve dnech. Stejný efekt se uplatňuje i v závěru vegetačního období, kdy se přírůstek sum efektivních teplot zpomaluje, až zastavuje.

Graf 2. Odchylka denních teplotních sum efektivních teplot nad 5 °C (SET5) v období duben–září

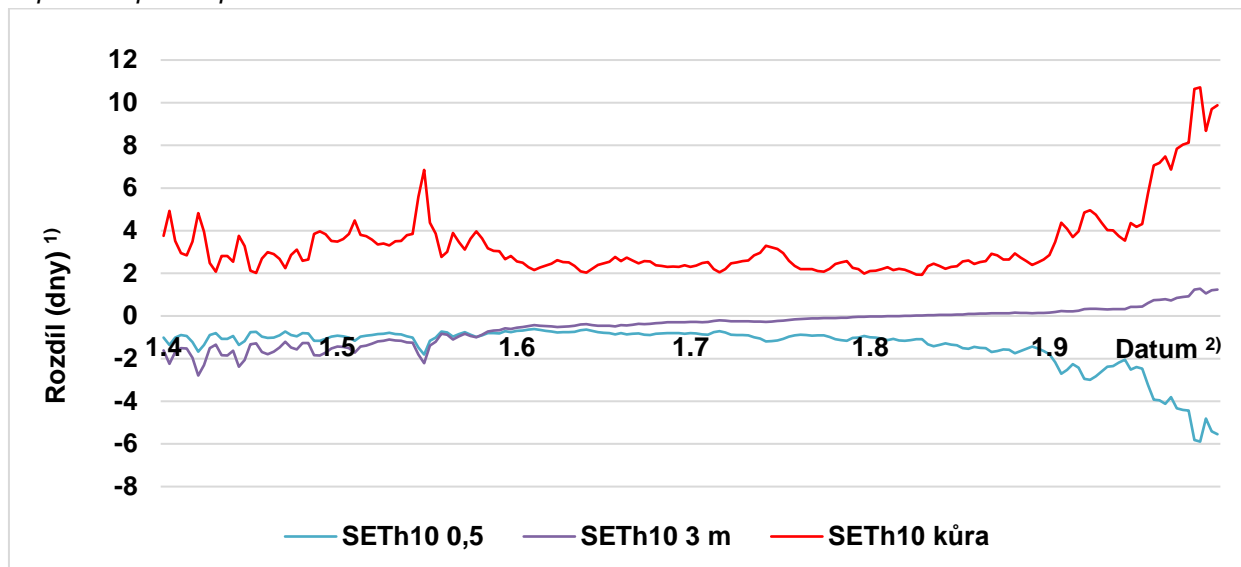
Figure 2. Deviation of daily temperature sums (GDD) of effective temperatures above 5°C (SET5) in period April–September



1) Difference (days), 2) Date

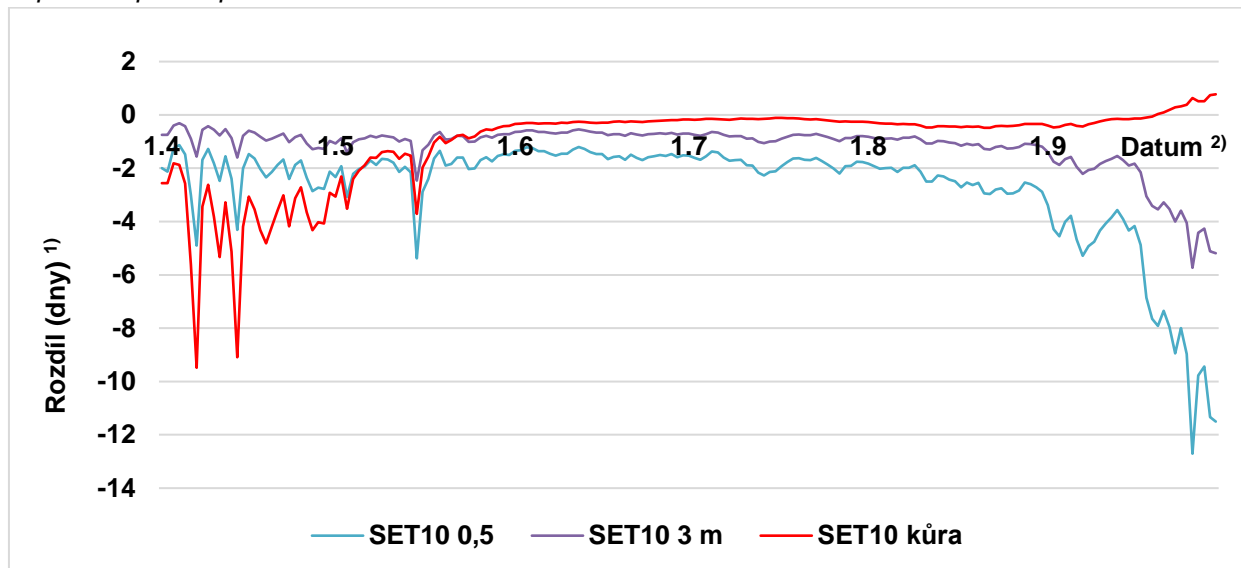
Při použití prahové hodnoty 10 °C (grafy 3 a 4) dosahují odchylky při použití průměrných denních teplot hodnot většinou do 2 dnů, pouze na začátku vegetačního období jsou v případě povrchu kůry větší a ve výšce 0,5 m se výrazně zvyšují na jeho konci s přibývajícím četností výraznějších přízemních inverzí. Se zvyšující se prahovou teplotou i výrazněji vzrůstají odchylky v období singularity „ledových mužů“, během několika dnů se však vrací na původní úroveň. Při použití průměrných hodinových teplot je opět poměrně konzistentních výsledků dosaženo u teploty vzduchu ve výšce 0,5 a 3 m, kde se odchylky v letním období pohybují kolem jednoho dne a méně. Naopak po celou dobu jsou vyšší teplotní sumy pozorovány u povrchu kůry, což vede k rozdílu většímu než dva dny. Toto zvýšení je do řady teplotní sumy pro povrch kůry vneseno hned na začátku vegetačního období, popřípadě ještě před ním. V březnu dosahuje teplota povrchu v období kolem poledne teploty nad 10 °C, zatímco teplota vzduchu ve výšce 1 m tuto hranici překračuje jenom minimálně a přírůstky teplotních sum jsou v tomto případě daleko menší, jak ukazuje graf 3.

Graf 3. Odchylka hodinových teplotních sum efektivních teplot nad 10 °C (SETh10) v období duben–září
Figure 3. Deviation of hourly temperature sums (GDH) of effective temperatures above 10 °C (SETh10) in period April–September



1) Difference (days), 2) Date

Graf 4. Odchylka denních teplotních sum efektivních teplot nad 10 °C (SET10) v období duben–září
Figure 4. Deviation of daily temperature sums (GDD) of effective temperatures above 10 °C (SET10) in period April–September



1) Difference (days), 2) Date

Svou roli při modifikaci teplotního pole budou mít i další faktory, jako je spon a výška výsadby, pěstitelský tvar stromů apod., které uvádí Kührt *et al.* (2006b) v porovnání teplotních poměrů v sadu s výsadbou štíhlých větven a vysokokmenných tvarů jabloní s ohledem na výskyt a

signalizaci obaleče jablečného, kde u štíhlých větven jsou během dne za slunečných dnů teploty vyšší než u větších stromů, naopak v noci jsou nižší. Při použití protikroupových sítí jsou nižší teploty opět za slunečného dne než u stejného tvaru bez sítí. Ještě větších rozdílů je zřejmě možné dosáhnout v případě, kdy meteorostanice sloužící k signalizaci výskytu škůdců na základě sum efektivních teplot je umístěna mimo výsadbu. S tím je nutno počítat při aplikaci různých teplotních modelů, jejichž výsledky se mohou zřejmě ve výše uvedených mezích lišit v závislosti na tom, za jakých podmínek byly stanoveny. Lze předpokládat, že v hodnotách potřebných teplotních sum používaných modelů jsou již statisticky zakomponovány všechny vlivy daného stanoviště, na němž byly odvozeny, tj. hustota výsadby a rovněž i ovlivnění teploty kůry kmene příslušnou expozicí, popřípadě i teplota povrchu a dužiny plodů, kde probíhá vývoj nakladených vajíček a následně i housenek.

ZÁVĚR

Příspěvek ukazuje na příkladu výsadby jabloní ve tvaru štíhlého větene na skutečnost, že teplotní rozvrstvení v sadu není zcela homogenní v prostoru ani čase. K jeho modifikaci dochází v závislosti na výšce nad terénem a též na denní a roční době. Teplota povrchu kůry se nejvíce odlišuje od teploty okolního vzduchu mimo vegetační období, při olistění stromů se rozdíly stírají. Příspěvek rovněž poukazuje na možné rozdíly vznikající při výpočtu efektivních teplotních sum z hodinových anebo denních průměrných teplot, přičemž tyto rozdíly se liší i v závislosti na použité prahové teplotě. Zejména v jarním období při nižších teplotách vzduchu dochází k tomu, že místa s nižší průměrnou denní teplotou vzduchu mohou dosahovat vyšších hodinových teplotních sum než místa s vyšší průměrnou denní teplotou, ale méně extrémnějším denním průběhem teplot. Předložený příspěvek ukazuje, že rozdíly v modelech vývoje fenologické fáze škůdců vlivem různých teplot v jednotlivých výškách mohou v konečném výsledku dosáhnout hodnoty kolem jednoho až dvou dnů oproti skutečně zaznamenané vývojové fázi. Toto zjištění je v souladu s výpočtem, který uvádí Kührt *et al.* (2006a) v hodnocení, že rozdíl v jednotlivých vývojových fázích obaleče jablečného může dosáhnout až tří dnů v případě štíhlých větven oproti rozvolněnější výsadbě stromů vyšších tvarů.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla za podpory Národní agentury pro zemědělský výzkum MZe ČR v rámci řešení projektu QK1910296 s využitím infrastruktury projektu RO1523.

LITERATURA

- FUKALOVÁ P., J. ROŽNOVSKÝ a F. CHUCHMA. Diference vybraných klimatických charakteristik v porostu sadů a na klimatologické stanici). In: *Bioklima 2010, Sborník příspěvků z mezinárodní konference*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2010, s. 423–429. ISBN: 978-80-213-2097-0.
- KÜHRT, U., J. SAMIETZ a S. DORN. *Effect of plant architecture and hail nets on temperature of codling moth habitats in apple orchards*. Online. Entomologia Experimentalis et Applicata. 2006a, 118(3): 245–259. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00385.x>. [citováno 2023-08-10].

- KÜHRT, U., J. SAMIETZ a S. DORN. *Plant architecture, hail nets and thermal behaviour influencing developmental rate and modelling of the codling moth*. Online. *Acta Horticulturae*. 2006b, 707: 197–203. Dostupné z: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.707.24>. [citováno 2023-08-12].
- SAMIETZ J., B. GRAF, H. HÖHN, L. SCHAUB a H.U. HÖPLI. *Phenology modelling of major insect pests in fruit orchards from biological basics to decision support: the forecasting tool SOPRA*. Online. *OEPP/EPPO Bulletin*. 2007, 37(2): 255–260. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2007.01121.x>. [citováno 2023-09-25].
- STŘEDA T., J. ROŽNOVSKÝ a F. CHUCHMA. Abiotické faktory přežívání a vývoje vybraného škodlivého činitele. In: *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí: sborník abstraktů z mezinárodní konference*. Praha: Česká bioklimatická společnost v nakl. Český hydrometeorologický ústav, 2011, s. 1–10. ISBN 978-80-86690-87-2. [citováno 2023-07-15].
- RIMPRO. *Předpovědní platforma pro modelování vývoje škůdců a infekcí chorob*. Online. RIMpro B.V., ©2023. Dostupné z: <https://www.rimpro.eu/>. [citováno 2023-09-10].