

# METODIKA PRO PRAXI



**Modelování dopadů sdružených  
klimatických událostí na růst, vývoj  
a výnosové parametry polních teplomilných  
zelenin a řepky olejně v systému pro  
podporu rozhodování v oblasti transferu  
agrotechnologií – DSSAT**

Vedoucí autorského kolektivu  
**doc. Dr. Mgr. Vera Potopová**

## PRACTICAL METHODOLOGY



**Modelling the impacts of compound climatic events on growth, development and yield parameters of field-grown thermophilic vegetables and oilseed rape in the Decision Support System for the Agrotechnology Transfer – DSSAT**

Main Author  
**doc. Dr. Mgr. Vera Potopová**



2023

---

## ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

### FAKULTA AGROBIOLOGIE, POTRAVINOVÝCH A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ

Katedra agroekologie a rostlinné produkce

Ústřední kontrolní a zkušební Ústav zemědělský

Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i

## Modelování dopadů sdružených klimatických událostí na růst, vývoj a výnosové parametry polních teplomilných zelenin a řepky olejné v systému pro podporu rozhodování v oblasti transferu agrotechnologií – DSSAT

### **Autorský kolektiv:**

doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

Ing. Nina Muntean

Md. Rafique Ahasan Chawdhery

Mgr. Tudor Trifan

Ing. Petr Zehnálek

prof. Ing. Josef Soukup, CSc.

Ing. Igor Potop

Mgr. Pavel Zahradníček, Ph.D.

Dr. Ing. Martin Možný



© doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

<https://katedry.czu.cz/karp/uvod>

**Lektoroval:** doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

**Jazyková korektura:** Mgr. Marie Musiolková, Ph.D.

**Odborní recenzenti:**

1. Ing. Petr Hanka, Hanka Mochov s.r.o. (<https://mrkev.com/cs/>)

2. Ing. Tomáš Mezlík, sekce rostlinné výroby, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno

**Vydala:** Česká zemědělská univerzita v Praze ve svém nakladatelství

**Název:** Modelování dopadů sdružených klimatických událostí na růst, vývoj a výnosové parametry polních teplomilných zelenin a řepky olejné v systému pro podporu rozhodování v oblasti transferu agrotechnologií – DSSAT

**Autorský kolektiv:** doc. Dr. Mgr. Vera Potopová, Ing. Nina Muntean, Md Rafique Ahasan Chawdhery, Mgr. Tudor Trifan, Ing. Petr Zehnálek, prof. Ing. Josef Soukup, CSc., Ing. Igor Potop, Mgr. Pavel Zahradníček, Ph.D., Dr. Ing. Martin Možný

**Vydavatel:** Česká zemědělská univerzita v Praze

**Pořadí vydání:** 1. vydání

**Počet stran:** 105

**Rok vydání:** 2023

**Povoleno:** Děkanátem Fakulty agrobiologie, přírodních a potravinových zdrojů České zemědělské univerzity v Praze

**ISBN 978-80-213-3284-3**

## SOUHRN METODIKY

Metodika je založena na propojení růstových modelů, regionálních klimatických modelů včetně experimentální činnosti jako nástrojů pro predikci vývoje výrobního procesu teplomilných zelenin a výnosových parametrů nových testovaných odrůd řepky olejně v souvislosti se změnou klimatu. Pro výzkum teplomilných zelenin a řepky olejně byl využit pěstební systém půda-rostlina-atmosféra růstových modelů zařazených do systému podpory rozhodování v oblasti transferu agrotechnologií (DSSAT, Decision Support System for Agrotechnology Transfer), jejichž výstupy byly ověřeny experimenty v polních podmínkách. Metodika ilustruje potřebu silnějších vazeb mezi pokusy a růstovými modely od definice problému až po ověření a řešení nových výzkumných otázek. Poprvé byly studovány schopnosti modelu CROPGRO-Tomato, CROPGRO-Papper a CROPGRO-Canola simulovat růst, vývoj a výnosové parametry teplomilných zelenin (byla zastoupena hybridní odrůda rajčete TORNÁDO F1 a hybridní odrůda papriky seté Superamy F1) a tří odrůd řepky olejně (Architect, Temptation a Sněžka) v rozdílných půdních a klimatických podmínkách na území České republiky. Simulace byly navázány na probíhající polní pokusy, jejichž výsledky byly využity pro validaci těchto modelů v nezbytném rozsahu, což doposud nebylo v ČR provedeno. Vzhledem k tomu, že v současné době není na našem území rozvinutý výzkum pěstování zelenin, tato metodika přináší nové a zásadní poznatky pro vytvoření různých scénářů možných adaptací pro modelovou plodinu a posouzení efektivity adaptačních opatření.

Byly vytvořeny scénáře dopadů sdružených rizikových klimatických událostí v pěstitelských systémech půda-rostlina-atmosféra v souvislosti se změnou klimatu. Byly mapovány oblasti perspektivní z pohledu pěstování rajčat podle tří regionálních klimatických modelů (nejstudenější a sušší, střední odhad, nejteplejší a vlhčí model) na území České republiky. Kromě toho bylo mapováno riziko výskytu škodlivých jarních mrazů dle současných a budoucích klimatických modelů a scénářů na území České republiky. V Environmentálním modulu DSSAT byly vytvořeny teplotní scénáře v kombinaci se zvýšením koncentrace CO<sub>2</sub> a poklesem/nárůstem srážek. Tato práce je reakcí na výsledky zkoušení rychle se vyvíjejících moderních odrůd adaptovaných nejen na probíhající změny klimatických podmínek, ale také na změny v požadavcích trhu.

## SUMMARY OF THE METHODOLOGY

The methodology is based on linking growth models, regional climate models with experimental fields as tools for predicting the development of the production process of thermophilic vegetables and yield parameters of new oilseed rape varieties tested in the context of climate change. For the research on thermophilic vegetables and oilseed rape, soil-plant-atmosphere growth models included in the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) models were used, and their outputs were validated by experiment under field conditions. The methodology illustrates the need for stronger linkages between experiments and growth models from defining the problem to validating and solving new research questions. For the first time, the ability of the CROPGRO-Tomato, CROPGRO-Papper and CROPGRO-Canola models to simulate growth, development and yield parameters of thermophilic vegetables (tomato variety TORNÁDO F1 and hybrid pepper Superamy F1) and three oilseed rape varieties (Architect, Temptation and Sněžka) with different soil and climatic conditions in the Czech Republic was investigated. It is connected to the ongoing field experiments for the validation of these models to the required extent, which has not yet been carried out in the Czech Republic. Since there is currently no developed research on vegetable cultivation in the Czech Republic, this methodology will provide new and crucial insights for developing different scenarios of possible adaptations for the model crop and assessing the effectiveness of adaptation measures. Scenarios of coupled climate risk impacts on the soil-plant-atmosphere cropping system in the context of climate change were developed. It mapped the projection of perspective areas in terms of tomato cultivation according to three regional climate models (the coldest and drier, the middle estimate and the warmest at the same time wetter model) across the territory of the Czech Republic. In addition, the risk of damaging spring frosts according to current and future climate models and scenarios across the territory of the Czech Republic was mapped. In the Environmental Module of DSSAT was created temperature impact scenarios combined with an increase in CO<sub>2</sub> concentration, or a decrease/increase in precipitation during tomato and pepper crop cycles. This work is a response to the results of testing rapidly evolving modern varieties adapted to ongoing changes not only in climatic conditions but also to changes in market demands.

## PODĚKOVÁNÍ

Certifikovaná metodika je určena především pro účely zemědělského výzkumu a šlechtění, agronomům i drobným pěstitelům zelenin, zemědělským poradcům a zástupcům veřejné správy. K dosažení výsledků byly použity metodologické techniky a postupy znázorněné ve schematické ilustraci metodiky propojení experimentů, vlastních pozorování a klimatických a růstových modelů.

Certifikovanou metodiku schválil a osvědčení o jejím uznání vydal Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský pod č. **UKZUZ 106522/2023**.

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu „SustES – Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách“ (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000797).

## OBSAH

|                                                                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Souhrn metodiky</b>                                                                                              | <b>4</b>  |
| <b>Summary of the methodology</b>                                                                                   | <b>5</b>  |
| <b>Poděkování</b>                                                                                                   | <b>6</b>  |
| <b>Obsah</b>                                                                                                        | <b>7</b>  |
| <b>Seznam tabulek</b>                                                                                               | <b>9</b>  |
| <b>Seznam obrázků</b>                                                                                               | <b>10</b> |
| <b>Kapitola I. Cíl metodiky</b>                                                                                     | <b>12</b> |
| <b>Kapitola II. Vlastní metodika</b>                                                                                | <b>13</b> |
| <b>2.1 Vliv změny klimatu na produkci polních zelenin</b>                                                           | <b>13</b> |
| <b>2.2 Sdružené rizikové klimatické a meteorologické události v pěstitelských systémech půda-rostlina-atmosféra</b> | <b>15</b> |
| <b>2.3 Modely systému pěstování plodin CSM (simulace růstu plodin)</b>                                              | <b>20</b> |
| 2.3.1 Model CSM-CROPGRO-Canola                                                                                      | 20        |
| 2.3.2 Model CSM-CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper                                                                     | 21        |
| <b>Kapitola III. Modelové plodiny</b>                                                                               | <b>23</b> |
| <b>3.1 Teplomilné zeleniny</b>                                                                                      | <b>23</b> |
| 3.1.1 Rajče tyčkové hybridní TORNÁDO F1                                                                             | 24        |
| 3.1.2 Paprika setá Superamy F1                                                                                      | 25        |
| <b>3.2 Hybridní odrůdy řepky olejky ozimé</b>                                                                       | <b>26</b> |
| 3.2.1 Odrůda Architect                                                                                              | 27        |
| 3.2.2 Odrůda Temptation                                                                                             | 28        |
| 3.2.3 Odrůda Sněžka                                                                                                 | 29        |
| <b>Kapitola IV. Sběr experimentálních dat</b>                                                                       | <b>30</b> |
| <b>4.1 Teplomilné zeleniny</b>                                                                                      | <b>30</b> |
| 4.1.1 Charakteristika experimentálních lokalit                                                                      | 30        |
| 4.1.2 Management teplomilných plodin                                                                                | 31        |
| <b>4.2 Management odrůd řepky olejné</b>                                                                            | <b>33</b> |
| 4.2.1 Charakteristika experimentálních lokalit                                                                      | 33        |
| <b>Kapitola V. Parametrizace modelů pěstebního systému CSM-CROPGRO</b>                                              | <b>35</b> |
| <b>5.1 Vstupní soubory dat pro model</b>                                                                            | <b>35</b> |
| <b>5.2 Modul počasí v CSM-CROPGRO</b>                                                                               | <b>35</b> |
| <b>5.3 Půdní modul v CSM-CROPGRO</b>                                                                                | <b>39</b> |



|                                                                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5.4 Management plodin v DSSAT CSM-CROPGRO</b>                                                                                                     | <b>43</b> |
| <b>5.5 Model GLUE pro odhad odrůdových růstových koeficientů</b>                                                                                     | <b>46</b> |
| 5.5.1 Kalibrace odrůdových růstových koeficientů v modelu CROPGRO-Tomato                                                                             | 46        |
| 5.5.2 Kalibrace odrůdových růstových koeficientů v CROPGRO-Canola                                                                                    | 49        |
| 5.5.3 Hodnocení modelu                                                                                                                               | 51        |
| <b>Kapitola VI. Výsledky</b>                                                                                                                         | <b>52</b> |
| <b>6.1 Modelování růstu, vývoje a výnosových parametrů teplomilných zelenin</b>                                                                      | <b>52</b> |
| 6.1.1 Experimentální výnos rajčat odrůdy TORNÁDO F1 a papriky odrůdy Superamy F1                                                                     | 52        |
| 6.1.2 Monitorování experimentální hmotnosti suché nadzemní biomasy odrůd Tornádo F1 a Superamy F1                                                    | 55        |
| 6.1.3 Simulovaný a pozorovaný vývoj LAI u rajčat a paprik                                                                                            | 57        |
| 6.1.4 Tvorba scénářů při simulaci výnosových parametrů teplomilných polních zelenin v souvislosti se změnou klimatu                                  | 60        |
| 6.1.5 Hodnocení statistiky výkonnosti modelů CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper                                                                         | 62        |
| <b>6.2 Projekce modelování perspektivních oblastí z pohledu pěstování rajčat</b>                                                                     | <b>63</b> |
| 6.2.1 Mapování změny teplotního zabezpečení dozrání rajčete jedlého v současném (2001–2020) a očekávaném klimatu (2021–2040 a 2041–2060) na území ČR | 63        |
| 6.2.2 Mapování rizika výskytu škodlivých jarních mrazů dle současného a budoucího klimatického scénáře                                               | 66        |
| <b>Kapitola VII – Porovnávání naměřených a simulovaných výnosových parametrů nových odrůd řepky v CSM-CROPGRO-Canola</b>                             | <b>70</b> |
| <b>7.1 Porovnání naměřených a simulovaných fenologických fází</b>                                                                                    | <b>71</b> |
| <b>7.2 Porovnání naměřených a simulovaných výnosových parametrů</b>                                                                                  | <b>71</b> |
| <b>7.3 Simulovaná výkonnost výnosových parametrů podle současného a budoucího klimatického scénáře</b>                                               | <b>74</b> |
| <b>7.4 Hodnocení výkonnosti modelu DSSAT-CROPGRO-Canola na základě naměřených a simulovaných výnosových parametrů</b>                                | <b>77</b> |
| 7.4.1 Shoda mezi simulovaným a naměřeným LAI                                                                                                         | 77        |
| 7.4.2 Shoda mezi simulovaným a naměřeným výnosem semen                                                                                               | 78        |
| 7.4.3 Shoda mezi simulovaným a naměřeným obsahem oleje v semenech                                                                                    | 79        |
| <b>Kapitola VIII. Diskuse</b>                                                                                                                        | <b>81</b> |
| <b>Kapitola IX. Závěr</b>                                                                                                                            | <b>83</b> |
| <b>Kapitola X. Srovnání novosti postupů</b>                                                                                                          |           |
| <b>Kapitola XI. Popis uplatnění certifikované metodiky</b>                                                                                           | <b>85</b> |
| <b>Kapitola XII. Ekonomické aspekty</b>                                                                                                              | <b>87</b> |
| <b>Seznam použité literatury</b>                                                                                                                     | <b>88</b> |
| <b>Seznam publikací, které předcházely metodice</b>                                                                                                  | <b>88</b> |

## Seznam tabulek

|                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Tabulka 1. Modely pro simulaci růstových parametrů rajčete jedlého a papriky seté v polních podmínkách a ve skleníkové produkci</i>                                                                                                                   | 18  |
| <i>Tabulka 2. Hlavní principy modelování růstu a vývoje rostlin modelem CROPGRO-Tomato/Pepper (DSSAT)</i>                                                                                                                                                | 22  |
| <i>Tabulka 3. Charakteristika agronomického potenciálu odrůdy Architect</i>                                                                                                                                                                              | 27  |
| <i>Tabulka 4. Charakteristika agronomického potenciálu odrůdy Temptation</i>                                                                                                                                                                             | 28  |
| <i>Tabulka 5. Charakteristika agronomického potenciálu odrůdy Sněžka</i>                                                                                                                                                                                 | 29  |
| <i>Tabulka 6. Projekce agroklimatických indexů během vegetačního období v letech 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 podle tří regionálních klimatických modelů (RCM) se scénářem s velmi vysokými emisemi oxidu uhličitého (RCP8.5) v budoucích letech</i> | 36  |
| <i>Tabulka 7. Minimální údaje o struktuře a textuře půdy z pokusných lokalit pro fungování modelů CSM-CROPGRO-Tomato/Pepper</i>                                                                                                                          | 40  |
| <i>Tabulka 8. Analýza fyzikálních vlastností půdy z experimentálních stanovišť</i>                                                                                                                                                                       | 41  |
| <i>Tabulka 9. Analýza vlastností půdy z experimentálních stanovišť</i>                                                                                                                                                                                   | 42  |
| <i>Tabulka 10. Vybrané postupy hospodaření s plodinami během období kalibrace a ověřování</i>                                                                                                                                                            | 43  |
| <i>Tabulka 11. Experimentální údaje o pěstování plodin a posklizňová analýza tří odrůd ozimé řepky na třech různých experimentálních stanovištích</i>                                                                                                    | 455 |
| <i>Tabulka 12. Plodinové koeficienty pro model CROPGRO-Tomato</i>                                                                                                                                                                                        | 477 |
| <i>Tabulka 13. Kardinální teploty vývojových fází rajčete jedlého v DSSAT</i>                                                                                                                                                                            | 488 |
| <i>Tabulka 14. Soubor údajů o hospodaření s plodinami pro výpočet růstových koeficientů pro odrůdy řepky olejky</i>                                                                                                                                      | 49  |
| <i>Tabulka 15. Plodinové koeficienty pro model CROPGRO-Canola</i>                                                                                                                                                                                        | 49  |
| <i>Tabulka 16. Kardinální teploty vývojových fází řepky</i>                                                                                                                                                                                              | 50  |
| <i>Tabulka 17. Vývoj hmotnosti suché nadzemní biomasy odrůdy TORNÁDO F1 ve vegetačním období 2021</i>                                                                                                                                                    | 55  |
| <i>Tabulka 18. Vývoj hmotnosti suché nadzemní biomasy odrůdy Superamy F1 ve vegetačním období 2021</i>                                                                                                                                                   | 56  |
| <i>Tabulka 19. Vývoj hmotnosti suché nadzemní biomasy odrůdy TORNÁDO F1 ve vegetačním období 2022</i>                                                                                                                                                    | 566 |
| <i>Tabulka 20. Vývoj hmotnosti suché nadzemní biomasy odrůdy Superamy F1 ve vegetačním období 2022</i>                                                                                                                                                   | 566 |
| <i>Tabulka 21. Časové a prostorové změny teplotního zabezpečení (GDD, °C) rajčete jedlého v současném (2001–2020) a očekávaném klimatu (2021–2040 a 2041–2060) na území ČR</i>                                                                           | 644 |
| <i>Tabulka 22. Časové a prostorové změny počtu dnů s efektivními teplotami pro rajče jedlé (GDD, dnů) v současném (2001–2020) a očekávaném klimatu (2021–2040 a 2041–2060) na území ČR</i>                                                               | 666 |
| <i>Tabulka 23. Data ukončení posledních jarních slabých mrazů v počtu dnů od 1. ledna v obdobích 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 na území ČR vyjádřené v relativních jednotkách (%)</i>                                                                 | 67  |

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabulka 24. Data ukončení posledních jarních mírných mrazů v počtu dnů od 1. ledna v obdobích 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 na území vyjádřené v relativních jednotkách (%) _____    | 67 |
| Tabulka 25. Data ukončení posledních jarních silných mrazů v počtu dnů od 1. ledna v obdobích 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 na území ČR vyjádřené v relativních jednotkách (%) _____ | 69 |
| Tabulka 26. Vyhodnocení modelu DSSAT-CROPGRO-Canola simulovaného oproti naměřeným výnosovým atributům _____                                                                             | 80 |

## **Seznam obrázků**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Obr. 1. Impaktní systém modelů a výchozí komponenty strukturálního přístupu používané ve výzkumu klimatického vlivu v zemědělství a potravinových systémech _____                                                                                                                                                                         | 17  |
| Obr. 2. Komponenty modelování systému pěstování plodin v CSM-CROPGRO (DSSAT) _____                                                                                                                                                                                                                                                        | 23  |
| Obr. 3. Snímky pokusných lokalit Praha-Suchdol a Mochov _____                                                                                                                                                                                                                                                                             | 311 |
| Obr. 4. Umístění experimentálních polí _____                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 333 |
| Obr. 5. Rozložení pokusné plochy a růstu WOSR/Canola zjištěná při pokusu _____                                                                                                                                                                                                                                                            | 344 |
| Obr. 6. Informace o půdním profilu, odběr půdních vzorků a laboratorní analýza _____                                                                                                                                                                                                                                                      | 41  |
| Obr. 7. Celkový výnos probírkové sklizně rajčat odrůdy TORNÁDO F1 a papriky odrůdy Superamy F1 v letech 2021–2022 _____                                                                                                                                                                                                                   | 53  |
| Obr. 8. Grafické znázornění naměřených a simulovaných hodnot indexu listové plochy (LAI) u rajčete odrůdy TORNÁDO F1 na pokusných lokalitách Mochov a Praha-Suchdol v letech 2021 a 2022 _____                                                                                                                                            | 58  |
| Obr. 9. Grafické znázornění naměřených a simulovaných hodnot indexu listové plochy (LAI) u papriky odrůdy Superamy F1 na pokusných lokalitách Mochov a Suchdol v letech 2021 a 2022 _____                                                                                                                                                 | 59  |
| Obr. 10. Simulace indexu maximální listové plochy rajčete odrůdy TORNÁDO F1 a papriky Superamy F1 podle současného stavu (Sc1) a podle scénáře se zvýšením teploty vzduchu o 1 °C a nárůst úhrnu srážek o 25 % (Sc2) _____                                                                                                                | 60  |
| Obr. 11. Simulace výnosu sklizně rajčete odrůdy TORNÁDO F1 a papriky odrůdy Superamy F1 podle současných a budoucích klimatických scénářů. Jednotkou výnosu je sušina v t ha <sup>-1</sup> . _____                                                                                                                                        | 611 |
| Obr. 12. Vyhodnocení simulovaného indexu listové plochy (LAI) s naměřenými hodnotami LAI u rajčete (odrůda TORNÁDO F1) a papriky (odrůda Superamy F1) v polních podmínkách během pokusného roku 2022 _____                                                                                                                                | 633 |
| Obr. 13. Pozorované a modelované změny teplotního zabezpečení rajčete jedlého podle scénáře RCP8.5 pro ansámbl RCM modelů (MPI3, střední odhad), nejteplejší a vlhčí model (MOHC2) a nejchladnější a sušší model pro časové horizonty 2021–2040, resp. 2041–2060 s referenčním obdobím 2001–2020 na území České republiky _____           | 644 |
| Obr. 14. Pozorované a modelované změny počtu dnů s efektivními teplotami pro rajče jedlé podle scénáře RCP8.5 pro ansámbl RCM modelů (MPI3, střední odhad), nejteplejší a vlhčí model (MOHC2) a nejchladnější a sušší model pro časové horizonty 2021–2040 resp. 2041–2060 s referenčním obdobím 2001–2020 na území České republiky _____ | 655 |
| Obr. 15. Data ukončení posledních jarních mrazů daných intenzit v počtu dnů od 1. ledna v obdobích 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 na území ČR _____                                                                                                                                                                                     | 67  |

- Obr. 16. Naměřený a simulovaný výnos odrůd řepky ozimé pro vegetační období 2020–2021. Výnos se vyjadřuje jako množství suché biomasy na hektar ( $t\ ha^{-1}$ ). \_\_\_\_\_ 722
- Obr. 17. Naměřený a simulovaný výnos odrůd řepky ozimé pro vegetační období 2021–2022. Výnos se vyjadřuje jako množství suché biomasy na hektar ( $t\ ha^{-1}$ ). \_\_\_\_\_ 72
- Obr. 18. Naměřený a simulovaný obsah oleje v semenech odrůd řepky ozimé pro vegetační období 2020–2021 \_\_\_\_\_ 733
- Obr. 19. Naměřený a simulovaný obsah oleje v semenech odrůd řepky ozimé pro vegetační období 2021–2022 \_\_\_\_\_ 74
- Obr. 20. Simulovaný maximální index listové plochy ( $LAI_{max}$ ) za současných klimatických podmínek při provádění polních pokusů (Sc1) a za předpokládaného klimatického scénáře (Sc2) pro RCP8.5 v polovině 21. století \_\_\_\_\_ 75
- Obr. 21. Simulované výnosy řepky podle současného a budoucího klimatického scénáře \_\_ 76
- Obr. 22. Simulovaný obsah oleje v semenech plodin podle současného a budoucího klimatického scénáře \_\_\_\_\_ 77
- Obr. 23. Vyhodnocení simulovaného indexu listové plochy (LAI) s naměřenými hodnotami u odrůd řepky ozimé (Architect, Temptation a Sněžka) v pokusném roce 2020–2021 \_\_\_\_\_ 78



Cílem metodiky je propojení modelování a experimentální činnosti jako nástrojů pro predikci vývoje výrobního procesu teplomilných zelenin a výnosových parametrů nových testovaných odrůd řepky olejné v souvislosti se změnou klimatu.

### Dílčí cíl 1: Simulace sdružených událostí v systému půda-rostlina-atmosféra

- i. Modelování sdružených meteorologických jevů během vegetačního cyklu plodin.

### Dílčí cíl 2: Simulace růstu modelových plodin

- i. Parametrizace modelů pěstebního systému CSM-CROPGRO pro různé plodiny, který je součástí softwaru DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) a je ověřený na experimentem v polních podmínkách.
- ii. Simulace růstu a vývoje indeterminantní odrůdy rajčete TORNÁDO F1 a hybridní odrůdy papriky seté Superamy F1 pěstované v polních podmínkách na dvou lokalitách v České republice.
- iii. Kalibrace a hodnocení schopnosti modelu CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper simulovat časový vývoj růstových a výnosových charakteristik rajčete jedlého a papriky seté od výsadby do technické zralosti v podmínkách České republiky.
- iv. Simulace výnosových parametrů nových odrůd řepky v CSM-CROPGRO-Canola testovaných na třech lokalitách v České republice s rozdílnými půdními a klimatickými podmínkami.
- v. Projekce modelování oblastí perspektivních z pohledu pěstování rajčat podle tří regionálních klimatických modelů (RCM; nejstudenější a sušší, střední odhad a nejteplejší vlhčí model) vynucených scénářem RCP8.5 na území České republiky.
- vi. Mapování rizika výskytu škodlivých jarních mrazů podle současných a budoucích klimatických modelů a scénářů na území České republiky.

## KAPITOLA II. VLASTNÍ METODIKA



### 2. ÚVOD

#### 2.1 Vliv změny klimatu na produkci polních zelenin

Většina studií dopadu změny klimatu využívá modely růstu plodin především pro pšenici, kukuřici, rýži a sóju, zatímco zelenině nebyla dosud věnována dostatečná pozornost. Rajče jedlé (*Solanum lycopersicum* L.) patří globálně mezi nejdůležitější druhy zeleniny a zaujímá druhé místo po bramborách, pokud jde o výměru, produkci, výnosy, komerční využití a spotřebu. Existují dva druhy pěstovaných rajčat, a to rajčata určená ke konzumaci v čerstvém stavu a rajčata používaná k průmyslovému zpracování, která se pěstují v polních podmínkách. Zpracovatelská rajčata se používají na výrobu rajčatového protlaku, rajčatové omáčky, kečupu a dalších výrobků na bázi polních rajčat. Jejich produkce je soustředěna v deseti hlavních „rajčatových oblastech“ na světě a tři z nich (USA, Itálie a Čína) představují 65 % celosvětové produkce (Cammaranoet *et al.*, 2022).

Na celém světě roste poptávka po čerstvé zelenině. Produkce polní zeleniny přináší vysoké ekonomické výnosy na jednotku půdy a nabízí tak slibné perspektivy výnosů v celé Evropě. Očekává se, že do roku 2031 se spotřeba čerstvé zeleniny v EU zvýší, a to díky rostoucímu povědomí spotřebitelů o výhodách přijímání stravy bohaté na zeleninu (FreshPlaza, 2021). Některé teplomilné druhy zeleniny, které se v současnosti pěstují převážně v jižní Evropě (lilky, rajčata a papriky), se mohou stát vhodnějšími pro pěstování v nížinných oblastech ve střední Evropě (Potopová *et al.*, 2017a-b, 2018). Snížení studeného teplotního stresu mezi současným a budoucím klimatem bude znamenat podstatné zvětšení ploch optimálních pro pěstování rajčat na volném poli v Evropě, od Středomoří až po severní Evropu (Karkanis *et al.*, 2018, Litskas *et al.*, 2019, Ide *et al.*, 2022). Naopak rozsáhlé oblasti, které mají v současnosti optimální podnebí, se v budoucnu stanou klimaticky okrajovými nebo nevhodnými pro polní pěstování rajčat v důsledku postupně se zvyšujícího stresu způsobeného vysokými teplotami a suchem (Silva *et al.*, 2017, dos Santos *et al.*, 2022). Prodlužování délky vegetačního období spolu s teplejším klimatem během vegetačního období může zvýšit potenciál pro pěstování teplomilné zeleniny na otevřených polích v severních zeměpisných šířkách. V práci Potopová *et al.* (2016) byly sledovány dopady klíčových rizikových meteorologických jevů na variabilitu výnosů polních zelenin v České republice. Tato studie prezentuje výsledky multikriteriální analýzy dopadů trendů

klimatických charakteristik (průměrná teplota vzduchu [Tprům], průměrná maximální a minimální teplota vzduchu [Tmax] a [Tmin], průměrná denní amplituda teploty vzduchu [DTR] a průměrná suma srážek) a rizikových meteorologických jevů (jarní a podzimní mrazy, nadbytek srážek, bezsrážkové dny, sucho a počet dnů v suché periodě, tropické dny, horké vlny a počet dnů v horké vlně) na variabilitu výnosů 12 druhů zelenin v zelinářských oblastech ČR. V rámci této studie byl pro odhad variability/ztráty výnosů jednotlivých druhů zelenin analyzován výskyt různých typů nepříznivých situací ve 23 okresech (výskyt stresu v důsledku mrazu, sucha, extrémního vlhka a vysokých teplot v citlivých fázích růstu rostlin). V případě klimatických trendů byly výnosy více citlivé na změnu teploty než na změnu úhrnu srážek, zatímco v případě extrémních teplotních a srážkových situací byla citlivost vůči jednotlivým faktorům variabilní. Jedním ze závěrů je poukázání na nárůst jak minimální, tak i maximální teploty vzduchu ve vegetačním období v zelinářských oblastech mezi lety 1989 a 2014. Avšak k výraznému zvýšení došlo převážně u teplotního minima, což má v konečném důsledku vliv na zmenšení denní amplitudy teploty vzduchu. Rostoucí trendy Tmin, Tmax a klesající tendence DTR měly pozitivní efekt na plodovou zeleninu (od 4,9 do 12,2 % °C<sup>-1</sup>), avšak v nejteplejších oblastech České republiky negativně ovlivňují stabilitu produkce historicky tradičních druhů kořenové zeleniny. Nárůst průměrné maximální a minimální teploty vzduchu během vegetačního období plodové zeleniny v Polabí (a okresech jižní Moravy) vedl v období 1989–2014 k nárůstu výnosu až o 13,7 % (14,0 %), zatímco za období 1961–2014 pouze o 4,9 % (5,8 %). Byl určen dominantní typ nepříznivé situace, kterým je pro produkci rajčat a okurek výskyt stresu z vysokých teplot v citlivých fázích růstu, zatímco změny Tmin a DTR měly za následek snížení rizika poškození rostlin mrazem.

Košťáloviny jsou v ČR často zavlažovány, ale výsledky ukazují, že zavlažování pouze zmírní následky sucha, tedy že krátkodobá extrémní proměnlivost srážek do značné míry stále ovlivňuje produkci těchto plodin ve sledovaných okresech. Rostoucím trendem Tmin a klesající tendencí DTR můžeme vysvětlit mírný růst výnosu košťálovin po roce 1989. Růst trendu Tmin, Tmax a klesající tendence DTR měly pozitivní vliv na výnos zelí o 2,5 % °C<sup>-1</sup>, 2,8 % °C<sup>-1</sup> a 2,2 % °C<sup>-1</sup>. Současně v kritických fázích růstu košťálovin rostl podíl dnů bez srážek a zvyšovala se intenzita srážek ve srážkových epizodách.

Variabilitu výnosu cibulovin je v krátkodobém horizontu možné vysvětlit proměnlivostí extrémní teploty a srážek (sucho-teplotní stres), což je odrazem nejčastěji bez-závlahových technologií pěstování cibule v ČR. Výsledky použitých modelů dále ukazují na pokles výnosů kořenové zeleniny v důsledku nárůstu vodního a tepelného stresu a změny Tmin.

Při pěstování luštěnin je v důsledku jejich krátké vegetační doby riziko vzniku četných stresů nejnižší, ale i přesto sucho zůstává dominantním stresovým faktorem. Pozitivním výsledkem je, že při pěstování tradičních zelenin (košťálovin, cibulovin a luštěnin) v zelinářských oblastech ČR převažují ročníky s čistým ziskem nad roky s ekonomickou ztrátou. Na rozdíl od obilovin je efekt probíhající klimatické změny při pěstování zelenin častěji pozitivní. Jsou zvýhodněny teplomilné druhy a odrůdy, které mohou z této změny do jisté míry profitovat.

S ohledem na skutečnost, že důraz při řešení cílů byl kladen na rizikové meteorologické faktory a jejich kumulaci v průběhu širšího vegetačního období zelenin a následnou vulnerabilitu produkce, byly aplikovány dva nástroje: tzv. dynamické růstové modely a regionální klimatické modely. Jedna z možností, jak kvantifikovat dopady klimatické změny na růst a vývoj teplomilných zelenin, je aplikace tzv. růstových modelů, tedy nástrojů pro zvýšení produkčního potenciálu krajiny při pěstování např. zelenin. Tyto nástroje sledují vazby systému půda-rostlina-atmosféra a jejich aplikací lze odhadnout důsledky změny prostředí, jako jsou změny teploty, srážek a nárůst koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře, na výměnu látek mezi rostlinou a prostředím. Potopová a kol. (2017a-b, 2018, 2020, 2022) se zabývá především možností využití růstového modelu CROPGRO v DSSAT pro modelování výnosových parametrů rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum* L.) v podmínkách měnícího se klimatu v mikroregionu středního Polabí. Dosavadní výsledky byly prezentovány v rámci vědecké komunity dlouhodobě se zabývající růstovými modely (např. Potop & Türkott 2014h, Potopová *et al.*, 2017b, Potopová 2018).

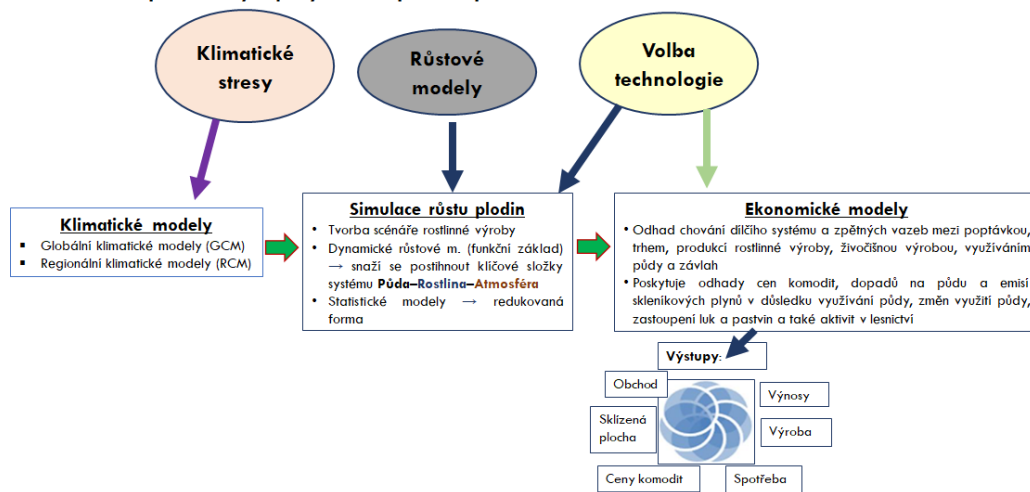
## 2.2 Sdružené rizikové klimatické a meteorologické události v pěstitelských systémech půda-rostlina-atmosféra

I přes intenzivní technologické pokroky v rámci šlechtitelských postupů sdružené klimatické a meteorologické události (sucho a horké vlny, jarní a podzimní mrazy, nadbytek srážek a invaze plevelů/škůdců) způsobily a způsobují velké fluktuace a ztráty výnosů. Modelování interakcí mezi několika extrémními a rizikovými meteorologickými jevy a jejich dopady na zemědělství je složitější než modelování jednotlivých meteorologických událostí (Potopová *et al.*, 2021a-b). Sdružené události mohou farmářům způsobit obrovské socioekonomické a environmentální škody. Lze je definovat jako časový a prostorový souběh dvou nebo více přírodních nebezpečí. Je to kombinace procesů, která vede k významnému dopadu a při které dochází ke společnému výskytu dvou nebo více jednotlivých extrémních událostí



během výrobního procesu potravin. Dopady sdružených rizikových klimatických a meteorologických událostí (CE) jsou komplexním kritériem, protože jejich zničující vliv se může projevit, i když jev není ani vzácný, ani intenzivní. Je nesmírně důležité porozumět procesům vzájemných vztahů extremity a příčiny sdružených meteorologických událostí v systému půda-rostlina-atmosféra, a to proto, že tyto události mohou přesáhnout socioekonomické škody způsobené jednotlivými nebezpečími a znamenají další zátěž pro farmářský podnik. Příkladem sdružených událostí je ničivá vlna veder v Evropě v roce 2018, která vyvolala extrémní teploty spojené se suchem, požáry a epizodami znečištění ovzduší (Potopová *et al.*, 2023a). Sdružené události (povodně, požáry, vlny veder a sucha) jsou obvykle důsledkem kombinace vzájemně se ovlivňujících fyzikálních procesů, které probíhají ve více časových a prostorových měřítkách. Mezi příklady sdružených událostí s velkým dopadem patří: (i) kombinace sucha, vln veder, požárů, znečištění ovzduší a jejich vzájemné působení zahrnující složitou souhru mezi teplotou, vlhkostí a srážkami; (ii) kombinace extrémních srážek, povodní a interakce bouřkových přívalů. Sdružené klimatické události, při nichž je extrémní pouze jedna proměnná (např. buď horko, nebo extrémní sucho), a události, při nichž jsou extrémní obě proměnné (např. sucho a vlny veder), mohou mít rozdílný dopad na výnosy ozimé řepky a obsah oleje v jejích semenech (Potopová *et al.*, 2010, 2011a-b, 2012, 2013, 2014a-h, 2015, 2016, 2017a-b, 2018, 2020, 2022). Změna klimatu mění mnoho z těchto procesů a jejich vzájemné působení, což ztěžuje prognózy budoucích nebezpečí, které jsou založené na analýze jednotlivých faktorů. Studie dopadů zohledňující pouze jeden faktor obvykle nedokážou posoudit rozsah dopadů sdružených událostí. Lepší pochopení jejich povahy posílí spojení mezi klimatickými vědami a řízením rizik, což bude mít bezprostřední přínos pro zemědělské podniky. K tomu je třeba zařadit pozici resilience jako dosud málo zkoumaného nástroje k vyrovnání se s důsledky známých socioekonomických aspektů (flexibilita, edukace, poradenství, inovace, technologie), ale je nutné zvlášť analyzovat, co je zásadní prvotní charakteristikou soběstačnosti. Pro vyhodnocení současné situace na úrovni soběstačnosti zelenin je klíčová situace v odvětví makroekonomiky (socioekonomické vstupy – pracovní síla, náklady na osivo, agrochemické přípravky, energii, dopravu – a výstupy, tj. statistiky produkce odvětví) (Obr. 1).

**Propojení klimatických, ekonomických a růstových modelů jako nástrojů pro predikci vývoje výrobního procesu potravin v souvislosti se změnou klimatu**



Obr. 1. Impaktní systém modelů a výchozí komponenty strukturálního přístupu používané ve výzkumu klimatického vlivu v zemědělství a potravinových systémech (nový portál Agropočasi: <https://agropocasi.cz/>)

**Modely plodin** simulují očekávaný růst a vývoj plodin na základě rovnic, které popisují, jak plodina jako společenstvo rostlin reaguje na půdní a povětrnostní podmínky a agronomický management. Modely pěstitelských systémů nabízejí potenciál pro integraci fyziologických poznatků o vlastnostech plodin a pro studium toho, jak se může lišit potenciální růst a hlavní omezení produkce v různých prostředích a při různých scénářích managementu. Počítačové simulační modely systému půda-rostlina-atmosféra mohou být cenným příspěvkem jak ke zlepšení výkonnosti plodin, tak k předvídaní dopadů na životní prostředí v různých scénářích hospodaření. Zároveň umožní definování oblastí a omezujících podmínek pro zvýšení plochy a ekonomické efektivity pěstování teplomilných zelenin.

Jednou z platforem zabývajících se dynamickým modelováním a vícerozměrnou statistikou sdružených událostí je **Systém podpory rozhodování v oblasti transferu agrotechnologií (DSSAT)**. DSSAT slouží pro simulaci růstu a výnosů plodin, které popisují dynamiku systému půda-rostlina-atmosféra (Hoogenboom *et al.*, 2019). Počítačové simulační modely systému půda-rostlina-atmosféra mohou být cenným přínosem pro zlepšení výkonnosti plodin (Potopová *et al.*, 2023b), jelikož mohou: (i) simulovat potenciální dopad změny klimatu na výnos, využívání zdrojů a životní prostředí; (ii) vyvinout adaptační strategie ke snížení potenciálního dopadu změny klimatu v důsledku změn koncentrace CO<sub>2</sub>, teploty,

srážek, slunečního záření a dalších meteorologických faktorů, a (iii) vyvinout zmírňující strategie ke snížení potenciálního dopadu zemědělství na změnu klimatu.

Počítačové simulační modely systému půda-rostlina-atmosféra mohou být účinným nástrojem pro zavádění nových plodin do stávajících systémů pěstování plodin za předpokladu, že je tento přístup kombinován s polními pokusy (Potopová *et al.*, 2023b). Dynamické simulační modely plodin mohou být užitečným nástrojem pro simulaci rozsáhlých účinků sdružených událostí na produkci plodin, kde dopady závisí na více závislých proměnných počasí a půdy a na způsobu hospodaření s plodinami. Sdružené události mají například velký vliv na výnos, rychlost dozrávání a přítomnost vitaminů v pěstovaných rajčatech (ovlivňují také např. koncentraci lykopenu).

Růstový model simuluje několik scénářů, které mohou ilustrovat, jak bude potravinový systém reagovat na sdružené případy klimatických extrémů. Ačkoli mají modely plodin velký potenciál pro praktické využití, a to zejména v zelinářské polní produkci, jejich využití je stále omezené. Rajče je pro modelování plodin průkopnickým druhem zeleniny (Tab. 1). Pro předpověď sklizně lilků je k dispozici omezený počet modelů, např. APEX a EPIC.

Tabulka 1. Modely pro simulaci růstových parametrů rajčete jedlého a papriky seté v polních podmínkách a při skleníkové produkci

| Název modelu             |             | Popis modelu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Reference                                                                                |
|--------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rajčata a papriky</b> |             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                          |
| 1                        | SALTMED     | Byl vyvinut jako obecný model, který lze použít pro různé zavlažovací systémy, typy půd, plodiny a stromy, strategie aplikace vody (deficitní zavlažování, částečné kořenové sušení, podpovrchové zavlažování), různé aplikace dusíku (fertigace, chemické nebo organické aplikace nebo aplikace rostlinných zbytků do půdy), různé kvality vody a drenážní systémy.                                                                                                    | Rameshwaran <i>et al.</i> , (2015); Silva <i>et al.</i> , (2017)                         |
| 2                        | EU – Rotate | Je dynamický deterministický model půda-rostlina-atmosféra vyvinutý především pro střídání zeleninových plodin. Model zohledňuje mineralizaci uhlíku a dusíku a dynamiku půdní organické hmoty, anorganický dusík v půdě, ztráty dusíku do prostředí, vodní bilanci, růst kořenů, růst plodin, příjem dusíku, tržní výnos a ekonomickou návratnost, které jsou ovlivněny faktory prostředí, jako je voda, teplota, sníh a mráz, a agronomickými postupy včetně hnojení. | Doltra <i>et al.</i> , (2010); Soto <i>et al.</i> , (2014), Fazel <i>et al.</i> , (2017) |

| Název modelu   | Popis modelu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Reference                                                                                                                      |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 CROPGRO      | Modulární struktura DSSAT zahrnuje vynikající model známý jako CROPGRO. Výkonnost CROPGRO spočívá v předpovídání fenologie, růstu, vývoje a akumulace dusíku v lokalitách, které představovaly různé scénáře environmentálního a agronomického managementu. Model CROPGRO Pepper lze použít k simulaci růstu, vývoje a výnosu papriky seté s ohledem na vstupy související se systémem půda-rostlina-atmosféra.                                                                                              | Scholberg <i>et al.</i> , (1997); Ramirez <i>et al.</i> , (2004); Rinaldi <i>et al.</i> , (2007); Reddy <i>et al.</i> , (2018) |
| <b>Rajčata</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                |
| 4 EPIC         | Je model pěstebních systémů, který byl vyvinut k odhadu produktivity půdy ovlivněné erozí jako součást ochrany půdních a vodních zdrojů. Simuluje růst a vývoj přibližně 80 plodin (např. rajčete jedlého, papriky a lilku) za využití jedinečných hodnot parametrů pro každou plodinu. Předpovídá účinky rozhodnutí o hospodaření na pohyb vody, živin a pesticidů v půdě a jejich společný dopad na ztrátu půdy, kvalitu vody a výnosy plodin.                                                             | Williams <i>et al.</i> , (1984); Cavero, J <i>et al.</i> , (1998); Rinaldi, M <i>et al.</i> , (2001)                           |
| 5 TOMGRO       | Model TOMGRO popisuje fenologický vývoj a nárůst sušiny různých rostlinných orgánů od data výsadby do poslední probírkové sklizně při dynamicky se měnící intenzitě slunečního záření, teplotě ve skleníku a koncentraci CO <sub>2</sub> .                                                                                                                                                                                                                                                                   | Jones <i>et al.</i> , (1991); Dimokas <i>et al.</i> , (2010); Giuliani <i>et al.</i> , (2019)                                  |
| 6 TOMSIM       | Model růstu plodin TOMSIM byl vyvinut pro rajčata ve skleníku a byly ověřeny následující dílčí moduly: (1) propustnost skleníku, (2) fotosyntéza, (3) produkce sušiny a (4) vzhled trsu, doba růstu plodů a rozdělení sušiny.                                                                                                                                                                                                                                                                                | Heuvelink <i>et al.</i> , (1994); (1996)                                                                                       |
| <b>Papriky</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                |
| 7 VegSyst      | VegSyst byl vyvinut k výpočtu denní potřeby dusíkatých hnojiv, zavlažování a koncentrace dusíku v aplikovaném živném roztoku pro fertilizaci zeleninových plodin pěstovaných ve sklenících. Lze jej použít pro plodiny pěstované v půdě nebo v substrátu. Požadavky na dusíkatá hnojiva vycházejí z denního příjmu dusíku plodinami a zohledňují minerální dusík v půdě při výsadbě a dusík mineralizovaný z hnoje a půdní organické hmoty. Požadavky na zavlažování vycházejí z odhadované evapotranspirace | Giménez <i>et al.</i> , (2013)                                                                                                 |

| Název modelu | Popis modelu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Reference                                                                 |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|              | a zohledňují účinnost zavlažování a slanost zavlažovací vody.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                           |
| 8 INTKAM     | Model růstu plodin INTKAM byl vyvinut za účelem kvantifikace potenciálních účinků barevných složek a úrovní světla na fotosyntézu plodin a jejich sezónní růst a produkci. INTKAM byl rozšířen o 1) spektrální složení světla, 2) profily extinkce světla pro různé vlnové délky, 3) vliv barvy na počáteční účinnost využití světla a 4) na maximální kapacitu karboxylace. | Marcelis <i>et al.</i> , (2005);<br>Sánchez-Molina <i>et al.</i> , (2015) |
| 9 APEX       | Simuluje růst a vývoj rajčete jedlého, papriky a lilku na úrovni zemědělských podniků a integruje povrchový odtok a koloběh živin.                                                                                                                                                                                                                                           | Williams <i>et al.</i> , (2002)                                           |

## 2.3 Modely systému pěstování plodin CSM (simulace růstu plodin)



V rámci programu DSSAT, verze 4.7.5 a 4.8, byly aplikovány růstové modely, které jsou v současné době k dispozici jako součást modelu pěstebních systémů (CSM) zahrnující více než 40 plodin (<https://dssat.net>). Ze seznamu plodových zelenin byly vybrány rajče a paprika a olejninu zastupuje řepka olejná.

### 2.3.1 MODEL CSM-CROPGRO-CANOLA

Model CSM-CROPGRO byl vyvinut jako strategie modelování pro předpověď růstu a výnosu různých plodin. Do modelu jsou zahrnuty atributy specifické pro ekotypy, druhy a odrůdy plodin, které slouží k simulaci parametrů růstu a výnosu na základě vstupního souboru dat. Saseendran a kol. (2010) nejprve upravili model CSM-CROPGRO založený na modulu pro fazol (*Vicia faba* L.) pro simulaci parametrů vybrané odrůdy řepky ozimé (WOSR). Zpočátku měli problémy s otázkami fixace dusíku, aby bylo možné pomocí modelu správně simulovat systémy hospodaření s živinami. Později byla otázka hospodaření s živinami vyřešena pomocí správy vstupních dat modelu s využitím experimentálního souboru dat sóji ze středomořských podmínek (*Glycine max* L. Merr.) (Deligios *et al.*, 2013). Model CSM-CROPGRO byl upraven pomocí systému pro podporu rozhodování v oblasti transferu agrotechnologií (DSSAT v4.6) pro použití při simulaci parametrů plodiny (Deligios *et al.*, 2013). Tento model v systému DSSAT je v současné době užitečným nástrojem pro modelování růstu a výnosu řepky v celosvětovém měřítku s cílem



vyhodnotit reakce plodiny na různá prostředí, zejména v podmínkách změny klimatu. K úspěšnému spuštění modelu jsou zapotřebí nejméně 4 typy datových souborů: údaje o půdě, počasí, hospodaření s plodinami a specifické parametry odrůdy. Na základě souboru vstupních dat může model CSM-CROPGRO-Canola simulovat růst, výnos, biomasu, index listové plochy (LAI) a parametry olejnatosti pro současný i předpokládaný klimatický scénář (Hoogenboom *et al.*, 2019a; 2019b).

### **Novinka:**

Vzhledem k tomu, že model CSM-CROPGRO-Canola je pro Českou republiku novým přístupem, v současné době jej testujeme a využíváme k vytvoření nových odrůdových koeficientů pro vybrané odrůdy řepky ozimé a také k vyhodnocení simulovaných růstových fází a odhadů výnosů za současných povětrnostních podmínek ze tří různých pokusných lokalit na území České republiky.

### **2.3.2 MODEL CSM-CROPGRO-TOMATO A CROPGRO-PEPPER**

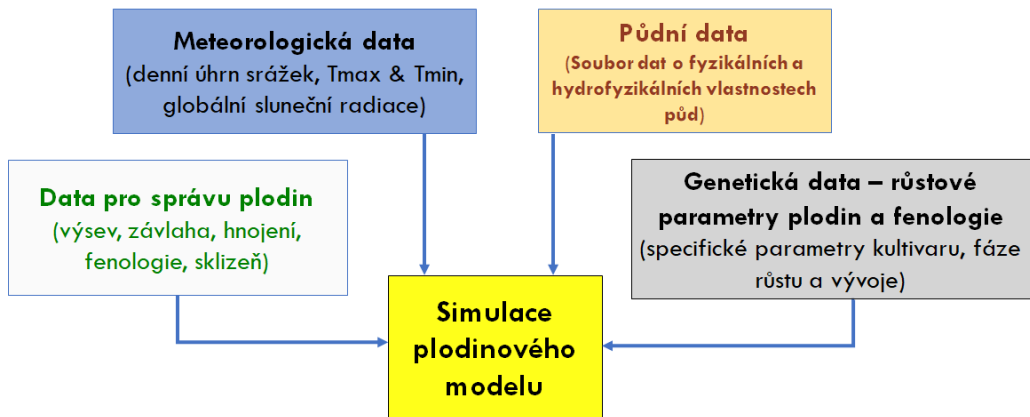
Jedna z možností, jak kvantifikovat dopady klimatické změny na růst a vývoj teplomilných zelenin, je aplikace tzv. růstových modelů. Dosavadní výsledky se zabývají především možností využití růstového modelu CROPGRO v DSSAT pro modelování výnosových parametrů rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum* L.) v podmínkách měnícího se klimatu v mikroregionu středního Polabí. Model CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper předpovídá růst, LAI, výnos a další růstové charakteristiky v závislosti na půdních typech, počasí, způsobech obhospodařování a odrůdě (Jones *et al.*, 2003; Hoogenboom *et al.*, 2019a-b). Algoritmus použitý v modelu je souborem diferenciálních rovnic, které představují rychlost růstu nebo vývoje jako funkci dynamiky půda-rostlina-atmosféra. Moduly půda-rostlina-atmosféra zahrnují konkurenci o světlo a vodu mezi půdou, rostlinami a atmosférou. Pro ilustraci výkonnosti modelu CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper při simulaci růstových parametrů byly pro tuto studii vybrány index listové plochy (LAI), nadzemní biomasa (AGB) a výnos odrůdy TORNÁDO F1 a Superamy F1.

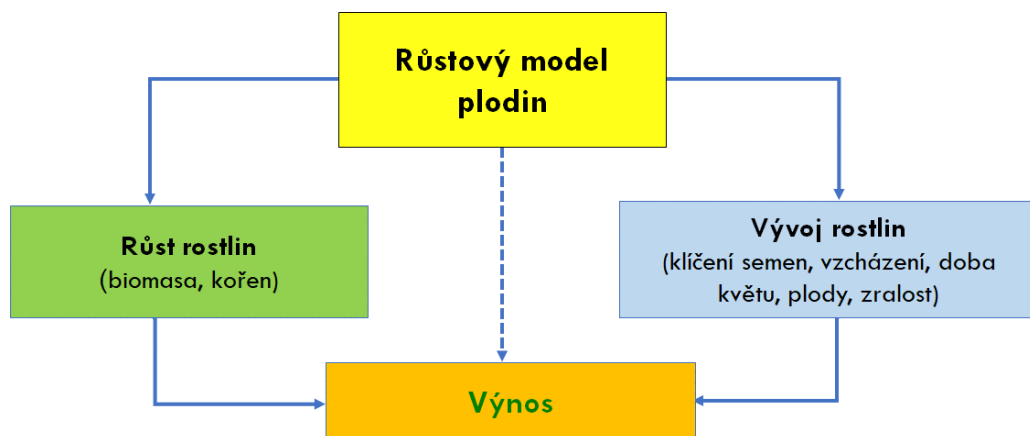
### **Novinka:**

Poprvé v České republice byl do modelu plodin DSSAT začleněn růstový koeficient pro tuto specifickou odrůdu rajčete a papriky, a dále také různé parametry, jako jsou termín kvetení, termín zralosti plodiny, výnos sklizně, celková hmotnost biomasy a index maximální listové plochy (Tab 2 a Obr. 2).

Tabulka 2. Hlavní principy modelování růstu a vývoje rostlin modelem CROPGRO-Tomato/Pepper (DSSAT)

| Proces                                     | CROPGRO-Tomato model                                                                                                          |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Fenologie                               | Funkce teploty a fotoperiody.                                                                                                 |
| 2. Rozvoj listové plochy a absorpce záření | Vývoj listové plochy je řízen teplotou a dostupností asimilátů.                                                               |
| 3. Využití záření                          | Efektivita využití záření. Konstantní hodnota efektivity využití záření se využívá pro převod absorbovaného záření na sušinu. |
| 4. Tvorba sušiny                           | Řízená teplotou, jakožto faktorem fenologie, limitovaná dostupností asimilátů, přebytky asimilátů jsou ukládány do kořenů.    |
| 5. Tvorba kořenového systému               | Exponenciální.                                                                                                                |
| 6. Metoda výpočtu evapotranspirace         | Priestley–Taylor.                                                                                                             |
| 7. Dynamika vody                           | Kapacitní metoda, pohyb vody v půdě.                                                                                          |
| 8. Typ modelu                              | Plodinově selektivní, dynamický.                                                                                              |
| 9. Časový krok simulace                    | Denní.                                                                                                                        |





Obr. 2. Komponenty modelování systému pěstování plodin v CSM-CROPGRO (DSSAT)

## KAPITOLA III. MODELOVÉ PLODINY



### 3.1 Teplomilné zeleniny

Z hlediska limitace pěstování a zavádění dosud netradičních druhů můžeme zeleniny rozdělit do tří skupin: teplomilné (původ většinou v tropech a subtropích), které zastavují růst při teplotách pod 10 °C; chlad-tolerující, které tolerují chlad do 0 °C po určitou krátkou dobu, a mráz-tolerující, které vydrží mírné mrazy a mohou přežít zimy v některých našich regionech (Potopová *et al.*, 2014a,b). Rajče jedlé (*Solanum lycopersicum* L.), paprika setá (*Capsicum annuum* L.) a lilek vejcoplodý (*Solanum melongena* L.) patří mezi teplomilné zeleniny a limitujícím faktorem pro rentabilní pěstování této zeleniny v ČR jsou teplotní poměry stanoviště. Polní pěstování rajčat v klimatických podmínkách České republiky je prozatím pouze doplňkovou činností zelinářských farem (Potopová *et al.*, 2017a; Potopová *et al.*, 2020). V České republice jsou pro plodovou zeleninu v poslední dekádě vhodné agrometeorologické podmínky, kvalita výnosů vzrůstá, což je kromě nepochybné snahy pěstitelů i důsledkem probíhající změny klimatu (Potopová *et al.*, 2022). V neposlední řadě se také uplatnila vhodná dotační politika ekologických opatření (bio zelenina, podpora tuzemských potravin). Plocha oblastí s teplotními podmínkami splňujícími nároky teplomilných zelenin bude na území ČR narůstat. Tyto plodiny často velmi dobře snášejí nedostatek vláhy a dovedou s ní velmi dobře hospodařit, a zároveň díky hlubokému kořenovému systému umí získat vodu a živiny z větších hloubek půdy. Experimenty navazují na předchozí experimenty s různě odolnými odrůdami vůči jarním mrazům, suchu a nadbytku vláhy na stejném stanovišti. Byly vybrány perspektivní odrůdy rajčete pro pěstování v polních podmínkách Polabí jako Torino F1 (chuť a trvanlivost), Strillo F1 (chuť), Parto F1 (chuť a trvanlivost), Sonet F1 (nejlepší chuť a vzhled), Galant



F1 (nejlepší chuť a vzhled), Odat F1 (nejlepší chuť a vzhled), Mandat F1 (nejlepší chuť a vzhled) a Montain Magic F1 (chuť a trvanlivost). V této metodice byly modelovými rostlinami hybridní odrůdy rajčete jedlého TORNÁDO F1 a papriky seté Superamy F1.

### 3.1.1 RAJČE TYČKOVÉ HYBRIDNÍ TORNÁDO F1



|                             |                                                                                                |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SPECIFICKÁ VLASTNOST</b> | Plná odolnost vůči chorobám                                                                    |
| <b>ZRALOST</b>              | Dobá zrání 80–90 dní                                                                           |
| <b>ODRŮDA</b>               | Tyčková (indeterminantní)                                                                      |
| <b>PLODY</b>                | Středně velké, kulaté hladké plody o hmotnosti cca 100–130 g dozrávající do sytě červené barvy |

#### Teplotní požadavky:

- klíčení: minimum 10 °C, optimum 20–25 °C
- růst: minimum 10 °C, optimum 20–28 °C, maximum 35 °C
- při teplotě pod 10 °C se zastavuje růst
- správné opylování v rozmezí teplot 15–30 °C
- teploty nad 35 °C způsobují problémy s vyzráváním plodů
- při teplotě půdy pod 12 °C je zpomalena mineralizace dusíku
- předpěstování sadby (slunečno: 18–20 °C ve dne, 12–14 °C v noci; zataženo: 17–19 °C)
- mulčování slámou při teplotě půdy nad 15 °C

#### Vláhové požadavky:

- srážková potřeba plodiny: 450–500 mm
- při předpěstování sadby je potřebná zálivka o objemu 1,5–2 l/m<sup>2</sup>

TORNÁDO F1 je poloraná odrůda rajčete, vhodná k pěstování jak ve sklenících a fóliovnících, tak i pro polní pěstování. Je to univerzální plastické rajče se stabilními výnosy a plnou rajčatovou chutí. Ačkoliv vyžaduje vyrovnaný vláhový režim, aby se předešlo praskání plodů, TORNÁDO F1 již více než 20 let patří k nejpěstovanějším českým rajčatům. Má vysokou toleranci k virové mozaice rajčat (ToMV) a virové žluté kadeřavosti listů rajčete (TYLCV). Tvoří středně dlouhé vijany s 6–8 plody. Během vegetace je potřeba zajistit vyvazování nebo navedení na oporu a pravidelné vylamování bočních výhonů. Nejčastěji používaný spon je 90 ×

50 cm. Postupná ruční sklizeň jednotlivých plodů nebo sklizeň celých vijanů v druhé části vegetačního období.

### 3.1.2 PAPRIKA SETÁ SUPERAMY F1

|                                                                                   |                             |                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
|  | <b>SPECIFICKÁ VLASTNOST</b> | Velký a těžký plod                       |
|                                                                                   | ZRALOST                     | Raná                                     |
|                                                                                   | ODRŮDA                      | Vysoký hybrid                            |
|                                                                                   | PLOD                        | Kuželovitý o délce 15 cm, chuť je sladká |
|                                                                                   | HMOTNOST PLODŮ              | 115–130 gramů                            |

#### Teplotní požadavky:

- minimální teplota pro pěstování 15 °C
- maximální teplota pro pěstování 30 °C (při vyšších teplotách opad květů)
- optimální teplota pro pěstování 22–25 °C přes den, 15–18 °C v noci
- teplota pro klíčení při předpěstování sadby 25–30 °C
- teplota po vzejití předpěstované sadby 15–17 °C ve dne, 12–14 °C v noci po dobu 1 týdne
- do vysazení do venkovních podmínek dále udržovat teplotu 20 °C ve dne a 14–16 °C v noci

#### Vláhové požadavky:

- závlaha za vegetační sezónu 240–400 mm
- objem jedné závlahové dávky 15–20 mm
- při použití kapkové závlahy je vhodný objem 0,5 l vody na rostlinu a den

Paprika setá je zastoupena hybridní odrůdou Superamy F1. Superamy F1 je vynikající hybrid typu AMY, velmi raná polní hybridní odrůda se stabilně vysokým výnosem a perfektním zdravotním stavem. Vzrůst rostlin je střední, plody mají tvar širokých jehlanců smetanové barvy a jsou určeny pro sklizeň v technické zralosti. Semena rostlin papriky se vysévají v únoru, následně se přepichují a pěstují při teplotě 20 °C ve dne a 16 °C v noci. Teplotní nároky papriky Superamy F1 jsou

obdobné jako u lilku, jedná se tedy o termo-periodicky aktivní rostlinu. Do volné půdy jsou rostliny vysazovány v druhé polovině května a pro zlepšení teplotních poměrů a omezení poškození rostlin nízkými teplotami je doporučeno v prvních 4–6 týdnech využít zakrytí rostlin netkanou textilií (Malý, 1998, Petřiková *et al.*, 2006, 2012).

### 3.2 Hybridní odrůdy řepky olejky ozimé

Brukev ozimá řepka olejka (*Brassica napus* subsp. *napus*) (WOSR) je vhodná modelová plodina, neboť je citlivá jak na holomrazy a srážkový deficit v chladném období roku, tak i na sucho ve vegetačním období. Tato práce je reakcí na výsledky zkoušení rychle se vyvíjejících moderních odrůd adaptovaných na probíhající změny nejen klimatických podmínek, ale i na změny v požadavcích trhu. U rostlin byly testovány výnosové, fenologické a kvalitativní parametry ve vztahu k meteorologickým faktorům. Pro hodnoty výnosových, fenologických a kvalitativních parametrů je vytvořen model hodnocení výkonnosti odrůd ve vztahu k meteorologickým faktorům.

#### *Teplotní požadavky:*

- průměrná roční teplota 7–9 °C
- teplota při seti minimálně 5 °C (podzim)
- během zimy snese teploty kolem -10 °C
- obnovení růstu po zimní krypto-vegetaci +2 °C
- teplota -6 až -8 °C poškodí rostliny v růstové fázi V. – VIII.
- teplota -4 až -5 °C poškodí rostliny v růstové fázi IX. – X.

#### *Vláhové požadavky:*

- průměrný roční úhrn srážek 450–700 mm

### 3.2.1 Odrůda ARCHITECT



Udržovatel:

Limagrain Europe, Biopôle Clermont-Limagne, Rue Henri Mondor, 63360 Saint Beauzire, Francie

Zmocněný zástupce:

Limagrain Central Europe S.

- Architect je polopozdní pylově fertilní hybrid s minimálním obsahem kyseliny erukové a nízkým obsahem glukosinolátů. Rostliny středně vysoké až vysoké, odolné proti poléhání před sklizní.
- Odrůda méně až středně odolná proti napadení fomovým černáním stonku brukvovitých, méně až středně odolná proti napadení bílou hnilobou brukvovitých, středně odolná proti napadení alternáriovou skvrnitostí brukvovitých a středně odolná proti napadení verticiliovým vadnutím brukvovitých.
- V rámci sortimentu hybridních odrůd výnos semene v teplé i chladné oblasti pěstování velmi vysoký, výnos oleje velmi vysoký.
- Hmotnost tisíce semen středně vysoká až vysoká.
- Obsah oleje v semeni středně vysoký až vysoký, zastoupení jednotlivých mastných kyselin v oleji standardní. Obsah N-látek v semeni nízký až středně vysoký (Tab. 3).

Tabulka 3. Charakteristika agronomického potenciálu odrůdy Architect

| <b>Kvalita semene v sušině:</b>                                        | <b>Architect</b> |
|------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Obsah hrubého proteinu v sušině osiva (%)                              | 19,7             |
| Obsah oleje (%)                                                        | 45,0             |
| HTS (g při vlhkosti 8 %)                                               | 5,0              |
| <b>Složení mastných kyselin (% celkového obsahu mastných kyselin):</b> |                  |
| Obsah nasycených mastných kyselin                                      | 5,8              |
| Kyselina olejová                                                       | 62,5             |
| Kyselina linolová                                                      | 19,1             |
| Kyselina alfa-linolenová                                               | 9,2              |
| Kyselina eruková                                                       | <0,05            |
| Obsah glukosinolátů                                                    | 15,9             |
| <b>Charakteristiky odolnosti (1-9):</b>                                |                  |
| Bílá hniloba brukvovitých                                              | 5,2              |
| Černání stonku brukvovitých                                            | 5,7              |
| Alternáriová skvrnitost brukvovitých (čern řepková)                    | 6,9              |
| Komplex kořenových chorob brukvovitých                                 | 6,3              |

### 3.2.2 Odrůda TEMPTATION



Udržovatel:

Deutsche Saatveredelung AG,  
Weissenburger Str. 5, 59557 Lippstadt,  
Německo

Zmocněný zástupce:

OSEVA PRO s.r.o., Jankovcova 938/18,  
170 37 Praha 7

- Temptation je polopozdní pylově fertilní hybrid s minimálním obsahem kyseliny erukové a nízkým obsahem glukosinolátů.
- Rostliny středně vysoké, středně odolné až odolné proti poléhání před sklizní.
- Odrůda středně odolná proti napadení fomovým černáním stonku brukvovitých, méně odolná proti napadení bílou hnilobou brukvovitých, středně odolná proti napadení alternáriovou skvrnitostí brukvovitých a středně odolná proti napadení verticiliiovým vadnutím brukvovitých.
- V rámci sortimentu hybridních odrůd výnos semene v teplé oblasti pěstování velmi vysoký a v chladné oblasti pěstování vysoký, výnos oleje velmi vysoký.
- Hmotnost tisíce semen nízká až středně vysoká.
- Obsah oleje v semeni vysoký, zastoupení jednotlivých mastných kyselin v oleji standardní. Obsah N-látek v semeni nízký (Tab. 4).

Tabulka 4. Charakteristika agronomického potenciálu odrůdy Temptation

| <b>Kvalita semene v sušině:</b>                                        | <b>Temptation</b> |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Obsah hrubého proteinu v sušině osiva (%)                              | 19,3              |
| Obsah oleje (%)                                                        | 46,0              |
| HTS (g při vlhkosti 8 %)                                               | 4,3               |
| <b>Složení mastných kyselin (% celkového obsahu mastných kyselin):</b> |                   |
| Obsah nasycených mastných kyselin                                      | 6,2               |
| Kyselina olejová                                                       | 65,5              |
| Kyselina linolová                                                      | 17,3              |
| Kyselina alfa-linolenová                                               | 7,7               |
| Kyselina eruková                                                       | <0,05             |
| Obsah glukosinolátů                                                    | 14,7              |
| <b>Charakteristiky odolnosti (1-9):</b>                                |                   |
| Bílá hniloba brukvovitých                                              | 5,1               |
| Černání stonku brukvovitých                                            | 6,1               |
| Alternáriová skvrnitost brukvovitých (čern řepková)                    | 6,9               |
| Komplex kořenových chorob brukvovitých                                 | 6,1               |

### 3.2.3 Odrůda SNĚŽKA



Udržovatel: SEMPRA PRAHA a.s.,  
U topíren 2/860, 170 41 Praha 7

- Sněžka je polopozdní odrůda s minimálním obsahem kyseliny erukové a nízkým obsahem glukosinolátů.
- Rostliny středně vysoké, odolné proti poléhání před sklizní.
- Odrůda středně odolná proti napadení fomovým černáním stonku brukvovitých, středně odolná proti napadení bílou hnilobou brukvovitých, středně odolná až odolná proti napadení alternáriovou skvrnitostí brukvovitých a středně odolná proti napadení verticiliovým vadnutím brukvovitých.
- V rámci sortimentu liniových odrůd výnos semene v teplé i chladné oblasti pěstování vysoký, výnos oleje vysoký.
- Hmotnost tisíce semen středně vysoká.
- Obsah oleje v semeni středně vysoký, zastoupení jednotlivých mastných kyselin v oleji standardní. Obsah N-látek v semeni nízký až středně vysoký (Tab. 5).

Tabulka 5. Charakteristika agronomického potenciálu odrůdy Sněžka

|                                                                        |               |
|------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Obsah hrubého proteinu v sušině osiva (%)                              | <b>Sněžka</b> |
| Obsah oleje (%)                                                        | 19,8          |
| HTS (g při vlhkosti 8 %)                                               | 44,3          |
| Obsah hrubého proteinu v sušině osiva (%)                              | 4,6           |
| <b>Složení mastných kyselin (% celkového obsahu mastných kyselin):</b> |               |
| Obsah nasycených mastných kyselin                                      | 6,2           |
| Kyselina olejová                                                       | 65,2          |
| Kyselina linolová                                                      | 17,4          |
| Kyselina alfa-linolenová                                               | 7,8           |
| Kyselina eruková                                                       | <0,05         |
| Obsah glukosinolátů                                                    | 12,4          |
| <b>Charakteristiky odolnosti (1-9):</b>                                |               |
| Bílá hniloba brukvovitých                                              | 5,8           |
| Černání stonku brukvovitých                                            | 6,4           |
| Alternáriová skvrnitost brukvovitých (čern řepková)                    | 7,6           |
| Komplex kořenových chorob brukvovitých                                 | 6,4           |



### 4.1 TEPLOMILNÉ ZELENINY

#### 4.1.1 CHARAKTERISTIKA EXPERIMENTÁLNÍCH LOKALIT

Ve spolupráci se zelinářskou farmou probíhá od roku 2014 polní pokus na dvou experimentálních lokalitách, kde jsou získávána vstupní data do modelu. Jsou sledovány meteorologické faktory, půdní vlastnosti, technologie pěstování, fyziologické parametry růstu včetně růstových charakteristik a výnos produkce. Výsledkem práce je posouzení reakce rostlin na chod a změny abiotických faktorů včetně nebezpečných meteorologických jevů, validace modelu porovnáním modelovaných dat s daty experimentálními a následné určení chyby modelu. Následně byla zjišťována možnost rentabilního pěstování rajčat a paprik přímo na produkčních polích zemědělského podniku Hanka Mochov s.r.o. (např. Potop a Potop, 2014). Pro ilustraci jsou pro tuto certifikovanou metodiku vybrány experimentální roky 2021 a 2022 na pokusných pozemcích zemědělského podniku Hanka Mochov s.r.o. a demonstračních a pokusných pozemcích České zemědělské univerzity v Praze (Praha-Suchdol, ČZU) (Obr. 3).

Polní pokusy byly provedeny ve Středočeském kraji (údolí ve střední části České republiky). Tato ovocnářsko-zeleninářská oblast se vyznačuje nejteplejšími a nejsuššími klimatickými podmínkami, kdy je stres suchem pro plodiny často limitujícím faktorem. Zemědělské přednosti zelenářské oblasti však zajišťují nejdelší vegetační období a nejdelší bezmrazové období s nejproduktivnějšími půdními podmínkami. Termíny přesazování tržních odrůd rajčat a paprik pěstovaných v polních podmínkách odpovídají stabilnímu přechodu průměrné denní teploty vzduchu nad 15 °C (výsledkem je více než 110denní délka vegetačního letního období; Potopová *et al.*, 2016). V období 1961–2022 se průměrná teplota vegetačního období pro teplomilné zeleniny pohybovala v rozmezí 16,5–18,0 °C a celkový úhrn srážek se pohyboval v rozmezí 289–325 mm. Průměrné maximální a minimální teploty byly 22,1 °C, resp. 11,3 °C. Pěstitelé obvykle odkládají termín výsadby teplomilné zeleniny až po 15. květnu, aby minimalizovali riziko poškození mrazem (po tomto datu je riziko mrazu pouze 10 %; Potopová *et al.*, 2014e-f).



Obr. 3. Snímky pokusných lokalit Praha-Suchdol a Mochov

#### 4.1.2 MANAGEMENT TEPLOMILNÝCH PLODIN

Teplomilné zeleniny jsou náročnější na pěstování a vyžadují pečlivou agrotechniku a teplou a chráněnou lokalitu. Pro pěstování teplomilných plodin jsou nejvhodnější teplé, chráněné polohy, s dobře propracovanou, středně těžkou půdou, bohatě zásobenou humusem. Management plodin aplikovaný v této studii (pěstování, zavlažování, hnojení, standardní ochrana proti chorobám a škůdcům) vycházel z postupů místních zemědělců. Experimenty navazují na předchozí experimenty s odrůdami různě odolnými vůči jarním mrazům, suchu a nadbytku vláhy na stejném stanovišti. Polní experimenty proběhly na vybraných plodinách přímo na pozemku farmy Hanka Mochov s.r.o. a výsledky těchto experimentů může tato farma rovnou aplikovat do praxe. Byly vybrány perspektivní vysoce odolné druhy a odrůdy plodové zeleniny. V průběhu vegetační doby byly sledovány fenologické fáze a rostliny byly odebírány ke stanovení obsahu sušiny jednotlivých orgánů a základních růstových analytických charakteristik.

Fenologická experimentální data jsou zásadní informací pro kalibraci modelu plodiny a hrají klíčovou roli při rozdělování asimilátů. V týdenním intervalu byla každá rostlina zařazena do konkrétní růstové fáze dle stupnice BBCH (Meier, 1997) a byl počítán podíl jednotlivých vývojových fází v rámci celého porostu. Byly zaznamenány snadno vizuálně rozlišitelné fenologické fáze indeterminantních odrůd rajčat. Heterogenita stanoviště může způsobit, že se některé rostliny v porostu vyvíjejí různou rychlostí, což má za následek značnou časovou prodlevu mezi ontogenezí jednotlivých rostlin. Proto byly týdenní fenologie (%) vypočteny jako poměr počtu rostlin zaznamenaných v rámci jednotlivých fenologických stadií a celkového počtu rostlin na poli. Vzorky rostlin pro analýzu základních fyziologických parametrů byly odebírány každých 14 dní. U odebraných rostlin byla stanovena listová plocha (LAI) a hmotnost suché biomasy (AGB) a následně byly vypočítány růstové analytické charakteristiky. LAI byl stanoven pomocí analýzy infračervených snímků (infračervené fotografie s rozlišením 8 Mpx).



---

Snímky byly zpracovány pomocí analytického nástroje v programu Adobe Photoshop. Suchá biomasa rostlin byla zjišťována po vysušení rostlin v sušárně při teplotě 105°.

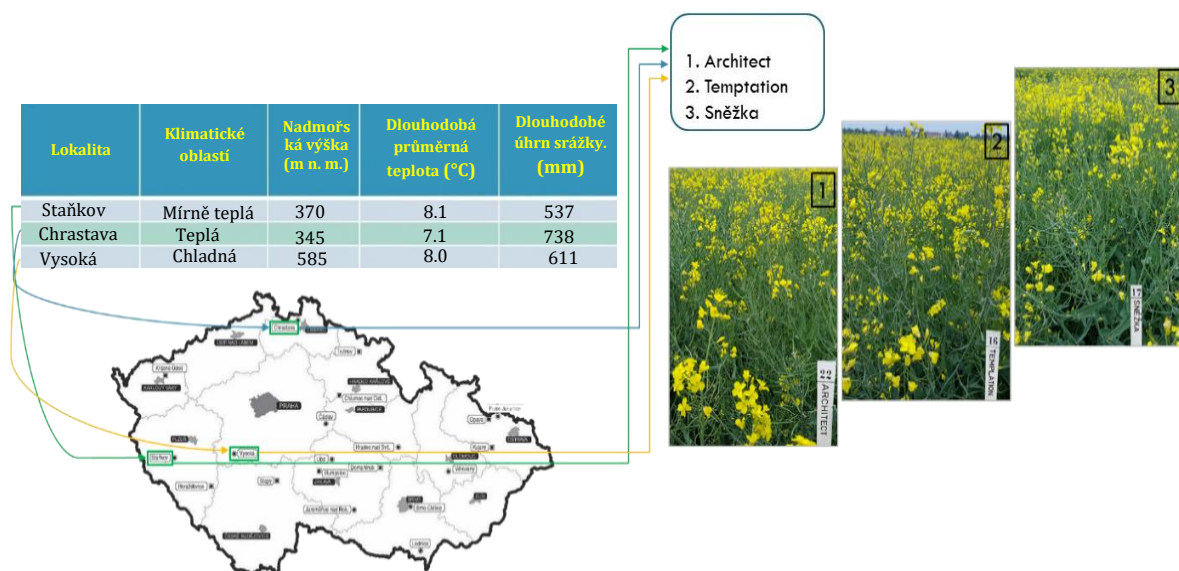
**Předpěstování sazenic:** Tornádo F1 a Superamy F1 se vysazují z předpěstované sadby. Setí bylo provedeno 20. února u papriky a 20. března u rajčete do kvalitního výsevního substrátu (který byl lehký a propustný) v minisadbovačích do hloubky přibližně 0,5–1,0 cm (Příloha 1-2). Po výsevu byl povrch postříkán přípravkem proti houbovým chorobám. Kvůli omezení odparu vody byly minisadbovače pokryty průhlednou fólií. Teplota vzduchu ve fóliovníku byla přes den 24,0–27,0 °C a v nočních hodinách 20,0 °C. Vzcházivost rostlin se v obou letech pohybovala v rozmezí 90–95 %. Jakmile rostliny vytvořily první pravé listy, byly přesazovány do květináčů o průměru 8 cm.

**Výsadba do volné půdy:** V obou letech proběhl počátek sázení do volné půdy tehdy, když byl zaznamenán stabilní nárůst průměrné denní teploty vzduchu na 15 °C a více. Přibližně 45–55denní sazenice byly ručně přesazeny na pole, odpovídající agrotechnickým požadavkům, do poloviny května. Půda byla na podzim zorána do hloubky 25 cm a na jaře kultivována. Hnojení dusíkem bylo naplánováno v průběhu celé sezóny tak, aby bylo v každém období dodáno 170 kg ha<sup>-1</sup> hnojiva. Na poli byly dodrženy rozestupy 1 m mezi řádky a 0,50 m mezi rostlinami rajčat v řádcích. U papriky byly dodrženy rozestupy 0,80 m mezi řádky a 0,40 m mezi rostlinami v řádcích. Tyčkové odrůdy během vegetace vysazujeme k opoře a odstraňujeme boční výhony z úžlabí listů. V průběhu vegetace byly vylamovány adventivní výhony a terminální výhon byl vyvazován svisle k opoře o délce 200 cm.

**Ošetřování:** Odplevelování porostu bylo za období vegetace provedeno dvakrát plečkováním a dvakrát okopávkou. Přihnojování dusíkatým hnojivem bylo prováděno dvakrát. Kapková závlaha byla aplikována podle vlhkosti půdy jednou až dvakrát týdně dávkou 15 a 20 mm. Závlaha byla plánována podle měnicích se potřeb rostliny; rané vývojové fáze se shodovaly s obdobím s vysokou frekvencí sucha (polovina května a červen) a střední fáze růstu plodů byla obdobím vysoké spotřeby vody (červenec, ~140 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> na tunu výnosu) (Potopová *et al.*, 2016, 2022). V pozdních fázích reprodukce byly výnosy plodové zeleniny méně citlivé na sucho díky schopnosti rostlin rajčat čerpat vodu z hlubších vrstev půdy při nedostatku půdní vláhy (70 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> na tunu).

## 4.2 MANAGEMENT ODRŮD ŘEPKY OLEJNÉ

### 4.2.1 CHARAKTERISTIKA EXPERIMENTÁLNÍCH LOKALIT

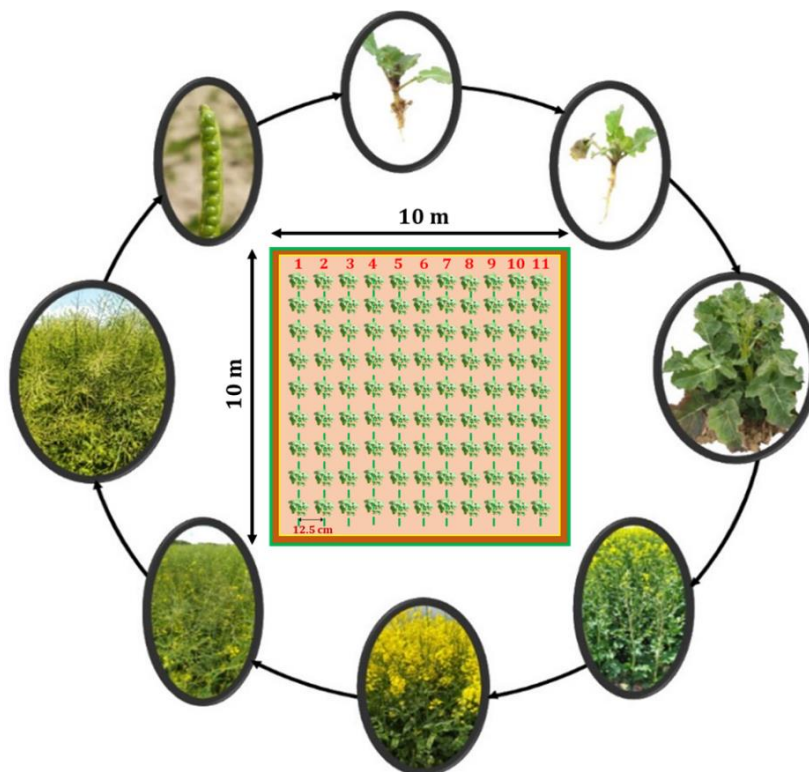


Obr. 4. Umístění experimentálních polí

Byl vyhodnocen soubor tří ozimých odrůd řepky olejky testovaných v odrůdových pokusech Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ) na stanicích ve Staňkově, Chrastavě a Vysoké. Odrůdové pokusy byly provedeny v letech 2020/2021–2021/2022. Na těchto lokalitách byly testovány tři různé odrůdy řepky olejné Architect, Temptation a Sněžka v různých půdních a klimatických podmínkách. Obecné vegetační období WOSR na pokusných polích bylo zahájeno výsevem od 1. do 3. září a sklizeň byla provedena od 18. července do 2. srpna. Obecná charakteristika lokalit experimentálních polí je uvedena na Obr. 4.

Příprava půdy na všech lokalitách začala 30. srpna až 1. září při hloubce orby 25–30 cm. Setí bylo zahájeno od 2. září ve Staňkově a následně 2. září na lokalitách Chrastava a Vysoká při hloubce setí 2 cm. Výsevek při setí na jednotlivých pokusných lokalitách u různých odrůd byl: Architect – 3,45 kg ha<sup>-1</sup>, Temptation – 2,79 kg ha<sup>-1</sup> a Sněžka – 4,04 kg ha<sup>-1</sup>. Rozměr každé pokusné parcely byl 10 m<sup>2</sup> s počtem řádků v rozmezí 10–11 řádků a průměrná rozteč řádků byla 12,5 cm. Podrobné uspořádání jedné pokusné parcely je znázorněno na Obr. 5. Fenologický růst plodin byl sledován každých 14 dní na základě stupnice BBCH (Meier, 1997) (Obr. 5). Den kvetení, den nasazení prvních plodů a den sklizňové zralosti všech

odrůd z různých lokalit se pohybovaly v rozmezí 238 až 247 dnů, 255 až 264 dnů a 309 až 332 dnů po vysetí.



Obr. 5. Rozložení pokusné plochy a růst rostlin WOSR/Canola zjištěný při pokusu

Z pokusných lokalit byly shromážděny potřebné údaje zahrnující výnosové, fenologické a kvalitativní parametry (počátek a konec kvetení, termín zralosti, poléhavost, délka rostlin, přezimování, hmotnost tisíce semen (HTS), výnos a olejnatost). Listová plocha a nadzemní biomasa odebraných vzorků byly pro analytické zpracování připraveny odděleně. Byly zjišťovány hmotnosti zelené a suché (sušené v sušárně při 105 °C) biomasy rozdělené na list, stonek a generativní části pokusné rostliny.

## KAPITOLA V. PARAMETRIZACE MODELŮ PĚSTEBNÍHO SYSTÉMU CSM-CROPGRO



### 5.1 VSTUPNÍ SOUBORY DAT PRO MODEL

Všechny údaje o klimatu, půdě, růstu plodin, hospodaření a výnosech shromážděné v pokusech byly zadány do standardních souborů DSSAT (\*.TMX, \*.TMA, \*.TMT, \*.WTH, \*.SOL) potřebných pro výpočet modelu CROPGRO-Tomato/Pepper. Pro vyhodnocení modelu byly použity soubory experimentálních dat a údaje o managementu plodin, počasí a půdě. Pro spuštění modelu CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper byly použity tyto čtyři základní skupiny datových souborů: 1) druhové a odrůdové charakteristiky plodiny, 2) meteorologické denní údaje, 3) půdní podmínky a 4) technologie pěstování. Model CROPGRO-Tomato/Pepper začleněný do systému DSSAT byl kalibrován a vyhodnocen pro odrůdu rajčete TORNÁDO F1 a odrůdu papriky seté Superamy F1 na základě údajů naměřených v terénu na lokalitách Mochov a Praha-Suchdol. Tyto simulace byly prováděny v denním kroku. Na konci každého dne byly aktualizovány bilance vody v rostlinách a půdě, dusíku, fosforu a uhlíku, a také fáze vegetativního a reprodukčního vývoje plodiny.

### 5.2 MODUL POČASÍ V CSM-CROPGRO



MAXIMÁLNÍ TEPLOTA VZDUCHU (TMAX)  
MINIMÁLNÍ TEPLOTA VZDUCHU (TMIN)  
GLOBÁLNÍ SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ (SRAD)  
ÚHRN SRÁŽEK (RAIN)

Růstové modely by se měly více zaměřit na zachycení dopadů extrémních teplot namísto průměrných teplot. Pro simulaci růstu a vývoje plodin vyžadoval DSSAT-CSM minimální soubor dat o denní maximální (°C) a minimální teplotě (°C), globálním slunečním záření ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) a srážkách (mm). Modul počasí DSSAT-CSM byl použit k uspořádání a začlenění všech údajů o počasí do standardního formátu modulu počasí. Naše analýza budoucích klimatických podmínek vychází ze simulací regionálních klimatických modelů (RCM) připravených v rámci evropské části globálního projektu Koordinovaného regionálního klimatického

downscalingového experimentu (CORDEX, [www.cordex.org](http://www.cordex.org)). CORDEX je mezinárodní projekt podporovaný Světovým programem pro výzkum klimatu (WRCP), jehož cílem je vytvořit soubor projekcí klimatických změn pokrývajících jednotlivé světové regiony pomocí většího počtu RCM a emisních scénářů. Klimatická výzkumná komunita tak mohla získat spolehlivější informace o budoucích klimatických parametrech včetně informací o přidružené nejistotě.

Evropská doména CORDEXu je pokryta v rámci dílčího projektu Euro-CORDEX ([www.euro-cordex.net](http://www.euro-cordex.net)). Modelové experimenty jsou zde prováděny ve dvou prostorových rozlišeních: 0,44 stupně a 0,11 stupně. V naší metodice se zaměřujeme na experimenty s rozlišením 0,11 stupně vynucené scénářem RCP 8.5 (Riahi *et al.*, 2007). Projekce klimatu se pro Českou republiku do poloviny století s ohledem na použitý emisní scénář příliš nemění (Štěpánek a kol. 2019). Z tohoto důvodu byl použit pouze emisní scénář RCP 8.5. Analýzy budoucího klimatu jsme rozdělili do dvou období: 2021–2040 a 2041–2060.

Z projektu CORDEX bylo získáno celkem 19 RCM, které byly ověřeny na základě pozorovaných klimatických charakteristik. Na základě uvedených vlastností bylo 7 RCM vyřazeno z důvodu kritických chyb v simulaci historického klimatu. Tyto kritické chyby by se s vysokou pravděpodobností projeví i v budoucím klimatu, takže zahrnutí těchto RCM by nepředstavovalo přínos k poznání rozsahu budoucích změn a nejistot. Ze zbývajících 12 modelů byly prioritně vybrány 3, které nejlépe reprezentují očekávané změny klimatu s odpovídající mírou nejistoty (Tab. 6).

- (1) MPI ESM LR RCA4: Představuje průměr ansámblu modelů (ENSprům) v projekcích teploty vzduchu i srážkových úhrnů.
- (2) MOHC HADGEM ES\_RACMO22E: Model s nejvyšší teplotou, vlhčí než ENSprům.
- (3) MPI ESM LR\_CLM4.8.17 (3): Model s nejnižší teplotou, sušší než ENSprům.

Tabulka 6. Projekce agroklimatických indexů během vegetačního období 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 podle tří regionálních klimatických modelů (RCM) se scénářem s velmi vysokými emisemi oxidu uhličitého (RCP8.5) v budoucích letech

| Index a vrstvy interaktivních map                  | RCM                         | Scénář | Časová období |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|--------|---------------|
| <b>Index 1: Suma efektivních teplot (GDD suma)</b> |                             |        |               |
| GDD suma                                           | Pozorované změny            | -      | 2001–2020     |
| GDD suma                                           | MPI1: Nejstudenější & sušší | RCP8.5 | 2021–2040     |
| GDD suma                                           | MPI1: Nejstudenější & sušší | RCP8.5 | 2041–2060     |
| GDD suma                                           | MPI3: Střední odhad         | RCP8.5 | 2021–2040     |
| GDD suma                                           | MPI3: Střední odhad         | RCP8.5 | 2041–2060     |
| GDD suma                                           | MOHC2: Nejteplejší & vlhčí  | RCP8.5 | 2021–2040     |

|                                                             |                             |        |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------|-----------|
| GDD suma                                                    | MOHC2: Nejteplejší & vlhčí  | RCP8.5 | 2041–2060 |
| <b>Index 2: Počet dnů s efektivními teplotami (GDD dní)</b> |                             |        |           |
| GDD, dní                                                    | Pozorované změny            | -      | 2001–2020 |
| GDD, dní                                                    | MPI1: Nejstudenější & sušší | RCP8.5 | 2021–2040 |
| GDD, dní                                                    | MPI1: Nejstudenější & sušší | RCP8.5 | 2041–2060 |
| GDD, dní                                                    | MPI3: Střední odhad         | RCP8.5 | 2021–2040 |
| GDD, dní                                                    | MPI3: Střední odhad         | RCP8.5 | 2041–2060 |
| GDD, dní                                                    | MOHC2: Nejteplejší & vlhčí  | RCP8.5 | 2021–2040 |
| GDD, dní                                                    | MOHC2: Nejteplejší & vlhčí  | RCP8.5 | 2041–2060 |
| <b>Index 3: Slabý jarní mraz</b>                            |                             |        |           |
| $t_{min} 0,0$ až $-1,1$ °C                                  | Pozorované změny            | -      | 2001–2020 |
| $t_{min} 0,0$ až $-1,1$ °C                                  | MPI1: Nejstudenější & sušší | RCP8.5 | 2021–2040 |
| $t_{min} 0,0$ až $-1,1$ °C                                  | MPI1: Nejstudenější & sušší | RCP8.5 | 2041–2060 |
| $t_{min} 0,0$ až $-1,1$ °C                                  | MPI3: Střední odhad         | RCP8.5 | 2021–2040 |
| $t_{min} 0,0$ až $-1,1$ °C                                  | MPI3: Střední odhad         | RCP8.5 | 2041–2060 |
| $t_{min} 0,0$ až $-1,1$ °C                                  | MOHC2: Nejteplejší & vlhčí  | RCP8.5 | 2021–2040 |
| $t_{min} 0,0$ až $-1,1$ °C                                  | MOHC2: Nejteplejší & vlhčí  | RCP8.5 | 2041–2060 |
| <b>Index 4: Mírný jarní mraz</b>                            |                             |        |           |
| $t_{min} -1,2$ až $-2,2$ °C                                 | Pozorované změny            | -      | 2001–2020 |
| $t_{min} -1,2$ až $-2,2$ °C                                 | MPI1: Nejstudenější & sušší | RCP8.5 | 2021–2040 |
| $t_{min} -1,2$ až $-2,2$ °C                                 | MPI1: Nejstudenější & sušší | RCP8.5 | 2041–2060 |
| $t_{min} -1,2$ až $-2,2$ °C                                 | MPI3: Střední odhad         | RCP8.5 | 2021–2040 |
| $t_{min} -1,2$ až $-2,2$ °C                                 | MPI3: Střední odhad         | RCP8.5 | 2041–2060 |
| $t_{min} -1,2$ až $-2,2$ °C                                 | MOHC2: Nejteplejší & vlhčí  | RCP8.5 | 2021–2040 |
| $t_{min} -1,2$ až $-2,2$ °C                                 | MOHC2: Nejteplejší & vlhčí  | RCP8.5 | 2041–2060 |
| <b>Index 5: Silný jarní mraz</b>                            |                             |        |           |
| $t_{min} < -2,2$ °C                                         | Pozorované změny            | -      | 2001–2020 |
| $t_{min} < -2,2$ °C                                         | MPI1: Nejstudenější & sušší | RCP8.5 | 2021–2040 |
| $t_{min} < -2,2$ °C                                         | MPI1: Nejstudenější & sušší | RCP8.5 | 2041–2060 |
| $t_{min} < -2,2$ °C                                         | MPI3: Střední odhad         | RCP8.5 | 2021–2040 |
| $t_{min} < -2,2$ °C                                         | MPI3: Střední odhad         | RCP8.5 | 2041–2060 |
| $t_{min} < -2,2$ °C                                         | MOHC2: Nejteplejší & vlhčí  | RCP8.5 | 2021–2040 |
| $t_{min} < -2,2$ °C                                         | MOHC2: Nejteplejší & vlhčí  | RCP8.5 | 2041–2060 |

Byly modelovány následující indexy:

- SUMA EFEKTIVNÍCH TEPLŮ PRO RAJČE JEDLÉ (GDD-TOMATO)** je rozhodujícím agroklimatickým kritériem pro dozrávání plodů. Sady interaktivních map znázorňují vhodnost pěstování polních rajčat v souvislosti se změnou agroklimatických charakteristik a vhodných pedologických podmínek (půdních typů a svažitosti). Mapy jsou v rozlišení 0,5 km. V této studii je uvedena analýza vhodnosti pěstování rajčat s důrazem na teplotní poměry během vegetačního období pro současné (2001–2020) a budoucí klima (2021–2040 a 2041–2060). Kritérium vymezení oblasti je na základě dostačujících teplotních sum pro efektivní pěstování rajčat (GDD). GDD je suma průměrných denních teplot (vypočítaných z maximální a minimální teploty vzduchu) nad 10 °C (TS 10 °C) a pod 30 °C (TS 30 °C). V případě teplot vyšších než 30 °C byla započítávána do teplotní sumy

hodnota rovna rozdílu obou prahových hodnot (20 °C) v bezmrazovém období roku, tj. od výsadby po technickou zralost v podmínkách České republiky. Algoritmus výpočtu GDD od výsadby po technickou zralost v podmínkách České republiky je následující:

$$GDD = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b;$$

$$\text{když } \frac{T_{max} + T_{min}}{2} > T_b$$

$$\frac{T_{max} + T_{min}}{2} < T_{cutoff}$$

$$GDD = T_{cutoff} - T_b; \text{ pokud } \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \geq T_{cutoff}$$

$$GDD = 0; \text{ pokud } \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \leq T_b$$
(1)

kde  $T_{max}$  a  $T_{min}$  jsou maximální a minimální denní teploty,  $T_b$  a  $T_{cutoff}$  jsou definovány jako základní teplota a limitní teplota.  $T_b = 10$  °C jako kombinace základní teploty 10 °C a horní prahové hodnoty 30 °C poskytuje optimální shodu s pozorovanými růstovými fázemi studovaných rajčat.

Model GDD-Tomato počítá teplotní sumy, které se vztahují k fyziologické době rajčete, což je doba od přesazení rajčat na pole do zralosti sklizně. Teplotní podmínky pro plné dozrání odrůd rajčat byly stanoveny polními pokusy za pomoci teplotní sumy  $GDD > 1000$  °C. Model počítá teplotní sumy  $GDD > 1000$  °C pro dny v rozsahu mezi základní teplotou 10 °C a horní hranicí 30 °C. Dny s poklesem teploty pod 10 °C se do výpočtu nezahrnují, protože může dojít k zastavení růstu a opadu kvetoucích poupat.

## 2) POČET DNŮ S EFEKTIVNÍMI TEPLOTAMI PRO RAJČE JEDLÉ

Počet dnů zabezpečující dozrání plodů pro dosažení technické zralosti rajčat. Čím větší je počet dní s efektivními teplotami, tím větší je možnost dozrání plodů u rané, střední a pozdní odrůdy (tj. čím vyšší je počet dní s efektivními teplotami, tím vyšší je rentabilita pěstování).

## 3) POČET DNŮ S VÝSKYTEM JARNÍCH MRAZŮ DLE JEJICH INTENZITY

Agrometeorologické riziko poškození produkce mrazem je závislé na kritické hranici minimální teploty vzduchu, která je pro jednotlivé druhy zelenin a jejich vývojové fáze různá. Proto pro hodnocení rizika byla využita denní minimální teplota vzduchu v období výsadby zelenin. S ohledem na fyziologické nároky

jednotlivých druhů byly vytvořeny hranice intervalů kritických minimálních denních teplot:

slabý mráz:  $t_{\min}$  0,0 až -1,1 °C,

mírný mráz:  $t_{\min}$  -1,2 až -2,2 °C,

silný mráz:  $t_{\min}$  < -2,2 °C.

### 5.3 PŮDNÍ MODUL V CSM-CROPGRO



Vstupní soubory dat o půdě v modulu SBUILD zahrnovaly:

#### A. Soubor dat o fyzikálních a hydrofyzikálních vlastnostech půdy

- Obsah humusu
- Hloubka vrstvy půdy (cm)
- SLCL – obsah jílu (%)
- SLSI – obsah prachu (%)
- SLSA – obsah písku (%)
- BD, objemová hmotnost ( $\text{g cm}^{-3}$ )
  - hydraulická vodivost půdy:
    - 1) LL, dolní hranice ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
    - 2) DUL, horní limitní kapacita pole ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

#### B. Půdní chemické údaje

- poměr C:N (uhlíku a dusíku)
- SLHV – pH půdního roztoku
- CEC – kationtová výměnná kapacita ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )
- SLOC – celkový obsah organického uhlíku (%) a SLNI – celkový obsah dusíku (%)

Údaje o půdě z experimentálních lokalit byly získány v terénu na základě hloubky půdních vrstev (po 10 cm až 90 cm) pomocí standardních materiálů pro odběr vzorků půdy (Obr. 6). Vzorky půdy byly uchovávány ve vzduchotěsných zipových



sáčcích a v půdních jádrech pro laboratorní analýzu. Fyzikální a chemické rozborů odebraných vzorků půdy byly provedeny v laboratoři půdních analýz. Vstupní soubory dat o půdě v modulu SBuild zahrnovaly procentuální obsah jílu, prachu, písku a organického uhlíku, pH, kationtovou výměnnou kapacitu, sklon, albedo, barvu, odvodnění, horní a dolní hranici limitní kapacity pole, celkový dusík v půdě, hydraulickou vodivost, objemovou hmotnost, faktor růstu kořenů a faktor úrodnosti půdy. Půdní profily pro lokality Mochov a Praha-Suchdol jsou uvedeny v Tab. 7. Střední Polabí je typické svými písčitymi půdami a naplaveninami. Na lokalitě Mochov se jedná o písčitohlinitou kambizem, což je půda záhřevná a úrodná s tendencí k vysychání. Půdní reakce je spíše kyselá a půda má vysokou půdní vodní kapacitu. Lokalita Praha-Suchdol je oblastí s hlubokými černozeměmi na spraších s vysokým obsahem organické hmoty. Jedná se o úrodné půdy s neutrální reakcí, vyšším zastoupením jílových částic, vyšší kationtovou výměnnou kapacitou a nízkou půdní vodní kapacitou.

Tabulka 7. Minimální údaje o struktuře a textuře půdy z pokusných lokalit pro fungování modelů CSM-CROPGRO-Tomato/Pepper

| Hloubka<br>vrstvy<br>půdy<br>(cm) | Jíl<br>(%) | Prach<br>(%) | Písek<br>(%) | SLOC<br>(%) | SLHV | CEC<br>(cmol<br>kg <sup>-1</sup> ) | SLNI<br>(%) | LL<br>(cm <sup>3</sup><br>cm <sup>-3</sup> ) | DUL<br>(cm <sup>3</sup><br>cm <sup>-3</sup> ) | BD<br>(g<br>cm <sup>-3</sup> ) |
|-----------------------------------|------------|--------------|--------------|-------------|------|------------------------------------|-------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Mochov</b>                     |            |              |              |             |      |                                    |             |                                              |                                               |                                |
| 0-10                              | 24,1       | 58,2         | 17,7         | 1,59        | 5,1  | 20,3                               | 0,10        | 0,19                                         | 0,40                                          | 1,31                           |
| 10-20                             | 23,2       | 58,6         | 18,2         | 1,58        | 5,1  | 20,2                               | 0,13        | 0,18                                         | 0,39                                          | 1,32                           |
| 20-30                             | 22,7       | 59,6         | 17,7         | 1,56        | 5,3  | 20,3                               | 0,12        | 0,18                                         | 0,39                                          | 1,31                           |
| 30-40                             | 24,3       | 59,1         | 16,6         | 1,98        | 5,7  | 20,1                               | 0,10        | 0,20                                         | 0,41                                          | 1,39                           |
| 40-50                             | 24,1       | 59,3         | 16,6         | 1,97        | 5,8  | 19,6                               | 0,10        | 0,20                                         | 0,41                                          | 1,34                           |
| 50-60                             | 23,9       | 60,1         | 16,0         | 1,93        | 5,9  | 19,7                               | 0,12        | 0,19                                         | 0,40                                          | 1,38                           |
| 60-70                             | 23,4       | 59,8         | 16,8         | 1,49        | 6,3  | 13,5                               | 0,13        | 0,18                                         | 0,38                                          | 1,43                           |
| 70-80                             | 22,3       | 60,1         | 17,6         | 1,44        | 6,4  | 13,2                               | 0,14        | 0,17                                         | 0,37                                          | 1,41                           |
| 80-90                             | 21,5       | 60,2         | 18,3         | 1,42        | 6,5  | 12,2                               | 0,12        | 0,18                                         | 0,38                                          | 1,39                           |
| <b>Praha-Suchdol</b>              |            |              |              |             |      |                                    |             |                                              |                                               |                                |
| 0-10                              | 34,2       | 51,2         | 14,6         | 2,39        | 7,9  | 23,6                               | 0,14        | 0,26                                         | 0,47                                          | 1,64                           |
| 10-20                             | 34,8       | 50,3         | 14,9         | 2,28        | 7,7  | 23,8                               | 0,11        | 0,26                                         | 0,47                                          | 1,61                           |
| 20-30                             | 34,9       | 49,8         | 15,3         | 2,16        | 7,5  | 23,5                               | 0,12        | 0,26                                         | 0,46                                          | 1,59                           |
| 30-40                             | 35,3       | 49,5         | 15,2         | 2,46        | 7,8  | 23,5                               | 0,15        | 0,27                                         | 0,48                                          | 1,63                           |
| 40-50                             | 35,6       | 49,1         | 15,3         | 2,41        | 7,8  | 23,5                               | 0,14        | 0,27                                         | 0,48                                          | 1,62                           |
| 50-60                             | 35,7       | 48,8         | 15,5         | 2,38        | 7,4  | 23,4                               | 0,12        | 0,27                                         | 0,47                                          | 1,58                           |
| 60-70                             | 35,5       | 49,3         | 15,2         | 2,46        | 7,7  | 23,2                               | 0,11        | 0,27                                         | 0,48                                          | 1,57                           |
| 70-80                             | 35,7       | 49,1         | 15,2         | 2,43        | 7,6  | 23,4                               | 0,14        | 0,27                                         | 0,48                                          | 1,53                           |
| 80-90                             | 35,9       | 48,9         | 15,2         | 2,35        | 7,8  | 23,6                               | 0,14        | 0,27                                         | 0,47                                          | 1,43                           |

Odběr půdních vzorků i popis půdního profilu pro řepku byly provedeny v období od 15. do 27. srpna. Pro povrchové a profilové koeficienty potřebné k výpočtu modelů byla zjištěna textura a struktura půdy, hloubka vrstvy, úroveň pH, bod nasycení, faktor růstu kořenů, objemová hmotnost, kationtová výměnná kapacita, obsah organického uhlíku, obsah dusíku a sklon půdy. Půdní data z pokusných

lokalit Chrastava, Staňkov a Vysoká byla odebrána z polí na základě hloubky půdních vrstev (po 10 cm až 60 cm).

Analýza fyzikálních vlastností půdního vzorku byla provedena pomocí kategorizace texturních skupin na základě kombinace částic (např. % jílu, hlíny a písku) a následně byla uspořádána do texturních skupin (např. hlína, písčité hlína atd.) s využitím kalkulačky texturních vlastností půdy v DSSAT. Objemová hustota různých vrstev byla rovněž analyzována pomocí neporušených jádrových vzorků. Mezi třemi lokalitami vykazovaly půdní profily heterogenní směs texturních skupin. Půdní profily pro lokality Chrastava, Staňkov a Vysoká byly charakterizovány jako hlinitopísčité až písčitohlinité půdy (lehké), typické hnědé půdy až hlinité půdy (střední) a pseudoglejové luvizemě až hlinité půdy (střední), v uvedeném pořadí (Tab. 8).



Obr. 6. Informace o půdním profilu, odběr půdních vzorků a laboratorní analýza  
 Tabulka 8. Analýza fyzikálních vlastností půdy z experimentálních stanovišť

| Hloubka vrstvy<br>půdy (cm) | Jíl (%) |      |      | Prach (%) |      |      | Písek (%) |      |      | BD<br>(g cm <sup>-3</sup> ) |     |     |
|-----------------------------|---------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------------------------|-----|-----|
|                             | CHT     | STV  | VYS  | CHT       | STV  | VYS  | CHT       | STV  | VYS  | CHT                         | STV | VYS |
| 0–10                        | 10,9    | 17,4 | 19,3 | 38,9      | 46,5 | 40,8 | 50,1      | 36,0 | 39,7 | 1,6                         | 1,5 | 1,6 |
| 10–20                       | 10,8    | 13,9 | 17,8 | 40,7      | 12,4 | 23,5 | 48,3      | 73,6 | 58,6 | 1,5                         | 1,4 | 1,5 |
| 20–30                       | 16,0    | 17,5 | 19,8 | 14,5      | 35,5 | 36,2 | 69,3      | 46,8 | 43,8 | 1,6                         | 1,5 | 1,7 |
| 30–40                       | 13,8    | 19,1 | 22,2 | 71,4      | 35,6 | 37,5 | 14,6      | 45,1 | 40,2 | 1,4                         | 1,6 | 1,7 |
| 40–50                       | 23,0    | 20,0 | 23,1 | 43,5      | 32,7 | 34,5 | 33,3      | 47,1 | 42,2 | 1,6                         | 1,6 | 1,7 |
| 50–60                       | 19,0    | 21,6 | 23,7 | 34,0      | 31,8 | 28,9 | 46,9      | 46,4 | 47,3 | 1,7                         | 1,5 | 1,6 |

\*CHT: Chrastava; STV: Staňkov; VYS: Vysoká

Pomocí chemické analýzy základních půdních vzorků byly vypočteny hydrofyzilogické vlastnosti půdy (organický uhlík (%); pH ve vodě; CEC, kationtová výměnná kapacita (cmol kg<sup>-1</sup>); celkový dusík (%)). Organický uhlík (%) ve svrchních 30 cm půdy vykazoval nižší hodnoty (1,61–1,7 %) na lokalitách Staňkov a Vysoká, naopak vyšší hodnota tohoto parametru byla získána na lokalitě Chrastava (2,24–2,47 %). Z profilu pH půdních vzorků bylo zjištěno, že lokalita Staňkov má ve svrchních 30 cm celkově kyselou půdu, zatímco ostatní dvě lokality se blížily neutrálnímu rozmezí (6,71–7,85). Kationtová výměnná kapacita půdního profilu ukázala, že lokalita Chrastava má vyšší hodnoty tohoto parametru (20,87–21,23) ve srovnání s půdními profily ze Staňkova a Vysoké (17,48–19,86). V případě celkového podílu dusíku měly všechny lokality podobné rozmezí 0,09–0,14 % ve všech vrstvách. LL, dolní hranice dostupné vody pro rostliny (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), a DUL, horní hranice odvodnění nebo polní kapacita (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) všech lokalit byly vypočteny pomocí protokolu výpočtu chybějících dat půdního modulu DSSAT na základě zjištěného souboru fyzikálních a hydro-fyzilogických dat. Soubor hydrofyzilogických údajů je uveden v Tab. 9.

Tabulka 9. Analýza vlastností půdy z experimentálních stanovišť

| Hloubka<br>vrstvy<br>půdy (cm) | SLOC<br>(%) |      |      | SLHV                                      |      |      | CEC<br>(cmol kg <sup>-1</sup> )            |       |       |
|--------------------------------|-------------|------|------|-------------------------------------------|------|------|--------------------------------------------|-------|-------|
|                                | CHT         | STV  | VYS  | CHT                                       | STV  | VYS  | CHT                                        | STV   | VYS   |
| 0–10                           | 2,47        | 1,65 | 1,81 | 7,88                                      | 6,85 | 7,09 | 21,05                                      | 18,11 | 18,74 |
| 10–20                          | 2,36        | 1,64 | 1,78 | 7,61                                      | 6,40 | 6,71 | 21,23                                      | 18,02 | 18,88 |
| 20–30                          | 2,24        | 1,61 | 1,76 | 7,85                                      | 6,29 | 6,91 | 20,96                                      | 18,11 | 19,86 |
| 30–40                          | 2,55        | 2,05 | 2,91 | 7,97                                      | 6,81 | 7,52 | 20,96                                      | 17,93 | 19,78 |
| 40–50                          | 2,49        | 2,04 | 2,22 | 8,18                                      | 7,10 | 7,69 | 20,96                                      | 17,48 | 18,92 |
| 50–60                          | 2,46        | 2,00 | 2,16 | 8,22                                      | 7,03 | 7,18 | 20,87                                      | 17,57 | 17,92 |
| Hloubka<br>vrstvy<br>půdy (cm) | SLNI<br>(%) |      |      | LL<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) |      |      | DUL<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) |       |       |
|                                | CHT         | STV  | VYS  | CHT                                       | STV  | VYS  | CHT                                        | STV   | VYS   |
| 0–10                           | 0,13        | 0,09 | 0,10 | 0,25                                      | 0,18 | 0,19 | 0,36                                       | 0,32  | 0,33  |
| 10–20                          | 0,10        | 0,12 | 0,13 | 0,25                                      | 0,17 | 0,18 | 0,35                                       | 0,33  | 0,34  |
| 20–30                          | 0,11        | 0,11 | 0,12 | 0,25                                      | 0,17 | 0,19 | 0,36                                       | 0,31  | 0,34  |
| 30–40                          | 0,14        | 0,09 | 0,10 | 0,26                                      | 0,19 | 0,21 | 0,36                                       | 0,28  | 0,31  |
| 40–50                          | 0,13        | 0,09 | 0,10 | 0,26                                      | 0,19 | 0,20 | 0,34                                       | 0,29  | 0,31  |
| 50–60                          | 0,11        | 0,11 | 0,11 | 0,26                                      | 0,18 | 0,18 | 0,35                                       | 0,34  | 0,35  |

\*CHT: Chrastava; STV: Staňkov; VYS: Vysoká

## 5.4 MANAGEMENT PLODIN V DSSAT CSM-CROPGRO



XBuild (Crop Management Module) je experimentální nástroj pro zadávání pokusných dat v DSSAT CSM-CROPGRO. Umožňuje uživateli přidat do modelu vlastní experimentální data a testovat výkonost plodiny v různých podmínkách prostředí a managementu. Byl vytvořen soubor experimentálního managementu plodin pro experiment provedený v letech 2021 a 2022. Údaje o managementu plodin zahrnovaly růstové charakteristiky odrůd TORNÁDO F1 a Superamy F1: datum výsadby, datum vzejití, datum přesazení, počet rostlin, výška rostlin, měření listové plochy, datum kvetení, datum zralosti, datum sklizně a výnos na dvou pokusných lokalitách (Tab. 10).

Tabulka 10. Vybrané postupy hospodaření s plodinami během období kalibrace a ověřování.

| Rok  | Datum výsadby |           | Datum kvetení (DAP) |    | Datum prvního nasazení plodů (DAP) |    | Datum prvního nasazení semen (DAP) |    | Datum sklizňové zralosti (DAP) |     | Index listové plochy (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> ) |      |
|------|---------------|-----------|---------------------|----|------------------------------------|----|------------------------------------|----|--------------------------------|-----|--------------------------------------------------------|------|
|      | MO            | SU        | MO                  | SU | MO                                 | SU | MO                                 | SU | MO                             | SU  | MO                                                     | SU   |
| 2021 | 21.5.2021     | 13.5.2021 | 9                   | 12 | 23                                 | 26 | 36                                 | 37 | 129                            | 139 | 2,27                                                   | 2,73 |
| 2022 | 20.5.2022     | 21.5.2022 | 14                  | 15 | 21                                 | 24 | 32                                 | 33 | 137                            | 131 | 1,61                                                   | 2,05 |

\*MO: Mochov; SU: Praha-Suchdol, DAP: dny po výsadbě



Tornádo F1 a Superamy F1 ve fázi tvorby květu a kvetení (červen)



Tornádo F1 a Superamy F1 ve fázi tvorby plodů (červenec)



Tornádo F1 a Superamy F1 ve fázi zrání plodů (začátek srpna)

Jako vstupní data pro model CSM-CROPGRO-Canola byly využity hodnoty výnosových, fenologických a kvalitativních parametrů odrůd řepky ozimé Architect, Sněžka a Temptation. V modulu XBuild byl vytvořen experimentální

soubor dat pro hodnocení výkonnosti odrůd a vlivu jednotlivých faktorů na výnosnost odrůd na všech třech pokusných lokalitách. Všechna polní data byla uspořádána podle vstupní struktury simulací plodinového modulu CSM-CROPGRO-Canola. Odrůdy Architect a Temptation z Chrastavy a Staňkova vykazovaly vyšší výnos semen v rozmezí 5,1–5,6 t ha<sup>-1</sup>, zatímco odrůda Sněžka měla na obou lokalitách nižší výnos (4,4–4,9 t ha<sup>-1</sup>). Všechny tři odrůdy však vykazovaly vyšší výnosy na lokalitě Vysoká v rozmezí 6,1–6,4 t ha<sup>-1</sup>.

Posklizňová analýza výnosu oleje (t ha<sup>-1</sup>), obsahu oleje, mastných kyselin a N-látek v semeni (%) byla provedena v laboratoři ÚKZÚZ. Nejvyššího výnosu oleje dosáhla odrůda Temptation z lokalit Chrastava a Staňkov, a to 2,04, resp. 2,66 t ha<sup>-1</sup>, zatímco odrůda Sněžka měla na obou lokalitách nejnižší výnos, a to kolem 1,88, resp. 1,93 t ha<sup>-1</sup>. Na lokalitě Vysoká dosáhly nejvyššího a nejnižšího výnosu oleje odrůdy Architect a Temptation, a to 1,88, resp. 1,71 t ha<sup>-1</sup>. V případě obsahu oleje v sušině semen vykazovaly všechny odrůdy 49–51 % v Chrastavě, 47–49 % ve Staňkově a 47–48 % ve Vysoké. U obsahu N-látek a mastných kyselin bylo v sušině semene zjištěno podobné rozmezí 16–20 % bez ohledu na lokality a odrůdy. Údaje o posklizňových analýzách osiva WOSR/Canola jsou uvedeny v Tab. 11.

Tabulka 11. Experimentální údaje o pěstování plodin a posklizňová analýza tří odrůd ozimé řepky na třech různých experimentálních lokalitách

| odrůdy     | Datum výsevu                   |          |          | Datum kvetení (DAP)                        |     |     | Datum prvního nasazení semen (DAP) |      |      |                                       |
|------------|--------------------------------|----------|----------|--------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------|------|------|---------------------------------------|
|            | CHT                            | STV      | VYS      | CHT                                        | STV | VYS | CHT                                | STV  | VYS  |                                       |
| Architect  | 3.9.2020                       | 2.9.2020 | 3.9.2020 | 241                                        | 241 | 247 | 263                                | 264  | 263  |                                       |
| Temptation | 3.9.2020                       | 2.9.2020 | 3.9.2020 | 238                                        | 241 | 247 | 255                                | 256  | 255  |                                       |
| Sněžka     | 3.9.2020                       | 2.9.2020 | 3.9.2020 | 240                                        | 242 | 247 | 260                                | 262  | 261  |                                       |
| odrůdy     | Datum sklizňové zralosti (DAP) |          |          | Výnos semen v sušině (t ha <sup>-1</sup> ) |     |     | Obsah oleje v semenech (%)         |      |      | Obsah nasycených mastných kyselin (%) |
|            | CHT                            | STV      | VYS      | CHT                                        | STV | VYS | CHT                                | STV  | VYS  |                                       |
| Architect  | 318                            | 321      | 332      | 5,1                                        | 5,1 | 6,2 | 50,0                               | 49,4 | 48,2 | 18,4                                  |
| Temptation | 309                            | 316      | 321      | 5,6                                        | 5,4 | 6,1 | 51,3                               | 49,5 | 48,3 | 16,1                                  |
| Sněžka     | 319                            | 321      | 330      | 4,4                                        | 4,9 | 6,4 | 49,1                               | 47,6 | 47,5 | 16,7                                  |

\*CHT: Chrastava; STV: Staňkov; VYS: Vysoká; DAP: Dny po výsevu

## 5.5 MODEL GLUE PRO ODHAD ODRŮDOVÝCH RŮSTOVÝCH KOEFICIENTŮ



Pěstitelé a producenti mohou z důvodu maximalizace výnosů měnit pěstované odrůdy. Růstové modely DSSAT zohledňují tuto variabilitu. Díky simulaci výnosu různých kultivarů v různých podmínkách je možné vybrat ten kultivar nebo ty odrůdy, které nejlépe odpovídají dostupným zdrojům. Odrůdový růstový koeficient definuje citlivost procesů v plodinách na faktory prostředí, včetně teploty, slunečního záření, koncentrace CO<sub>2</sub>, složení rostlin a další funkce a parametry. Růstový koeficient konkrétní odrůdy byl odhadnut pomocí metody GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) začleněné do modelu DSSAT. Metoda GLUE odhaduje hodnoty a související nejistotu pro každou odrůdu plodiny pomocí pseudo-baysiánského algoritmu. Jedná se o metodu Bayesova odhadu, která využívá Monte Carlo vzorkování z předchozích rozdělení koeficientů a Gaussovou funkci pravděpodobnosti k určení nejlepší sady koeficientů na základě dat, která se používají v procesu odhadu. Nevýhody programu GLUE jsou v tom, že může pro výpočty vyžadovat mnoho času, a to v závislosti na počtu kombinací podmínek vybraných pro proces odhadu. Na druhé straně lze metodu GLUE použít k vytvoření sady odhadovaných koeficientů bez zásahu uživatelů. Poskytuje také odhady nejistot parametrů. Tato metoda nezávisí na heuristických pravidlech, takže ji lze jednoduše implementovat pro další plodiny. Uživatelské rozhraní GLUE v programu DSSAT a praktický způsob její aplikace s následnou interaktivní simulací plodiny pro srovnání s pozorovanými daty lze detailně najít v metodice Potopová *et al.*, 2023b.

### 5.5.1 KALIBRACE ODRŮDOVÝCH RŮSTOVÝCH KOEFICIENTŮ V MODELU CROPGRO-TOMATO

Růstové modely vyžadují velké množství vstupních dat a experimentálních informací pro jejich kalibraci a výpočty. Model CROPGRO-Tomato vyžadoval kalibraci růstových koeficientů v souboru odrůdy, protože byla použita nová odrůda v DSSAT. Tyto koeficienty popisují trvání vývojových růstových fází konkrétní odrůdy. Pro kalibraci a hodnocení modelu DSSAT-CROPGRO-Tomato byl použit soubor dat o hospodaření s rostlinami rajčete odrůdy Thomas F1 z experimentální lokality Mochov v letech 2014–2020. Referenční kalibrované parametry rajčete v polních podmínkách Polabí byly nastaveny dle hybridní odrůdy Thomas. Parametry upravené pro odrůdu rajčete TORNÁDO F1 byly

srovnatelné se souborem pro odrůdu Thomas. Kalibrované hodnoty parametrů odrůdy a ekotypu pro studované lokality jsou uvedeny v Tab. 12.

K odhadu souborů růstových koeficientů specifických pro hybridní odrůdy TORNÁDO F1 a Superamy F1 byly použity různé soubory fenologických údajů (datum vzejití rostliny, datum výsadby, datum antézy, datum prvního kvetení, datum tvorby plodů, datum technické zralosti) a atributů výnosu (např. konečný výnos, nadzemní biomasa, maximální listová plocha během sezóny).

Tabulka 12. Plodinové koeficienty pro model CROPGRO-Tomato

| Parametr | Definice                                                                                                                                 | Rozsah testování | Kalibrované hodnoty |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|
| EM-FL    | Čas mezi výsadbou rostlin a objevením prvního květu (GDD)                                                                                | 8,0–24,4         | 10,0                |
| FL-SH    | Čas mezi objevením prvního květu a prvního plodu (GDD)                                                                                   | 2,2–4,6          | 2,4                 |
| FL-SD    | Čas mezi prvním květem a prvním semenem (GDD)                                                                                            | 19,0–25,0        | 22                  |
| SD-PM    | Čas mezi prvním semenem a fyziologickou zralostí (GDD)                                                                                   | 35,0–47,0        | 45                  |
| FL-LF    | Čas mezi prvním květem a koncem tvorby listů (GDD)                                                                                       | 35,0–52,0        | 42                  |
| LFMAX    | Max. rychlost fotosyntézy při 30 °C, 350 ppm CO <sub>2</sub> a vysoké osvětlenosti (mg CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) | 1,20–1,36        | 1,36                |
| SLAVR    | Specifická listová plocha odrůdy za standardních růstových podmínek (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )                                   | 250,0–350,0      | 300                 |
| XFRUIT   | Maximální podíl denního přírůstku, který se dělí na semeno + obaly                                                                       | 0,50–0,78        | 0,60                |
| SFDUR    | Doba plnění semen za standardních růstových podmínek (GDD)                                                                               | 24,0–27,0        | 26,0                |
| PODUR    | Čas potřebný k dosažení konečné formy plodenství za optimální podmínek (GDD)                                                             | 52,0–58,0        | 54,0                |
| PL-EM    | Čas mezi výsevem a vzejitím PL-EM (GDD)                                                                                                  | 10,0–14,0        | 6,0                 |
| EM-V1    | Čas mezi vzejitím a prvním pravým listem (GDD)                                                                                           | 20,0–25,0        | 22,0                |
| LNGSH    | Čas potřebný pro růst konkrétního plodu (GDD)                                                                                            | 33,0–39,0        | 38                  |
| FL-VS    | Doba mezi vytvořením prvního květu a posledního listu na hlavním stonku (GDD)                                                            | 22,5–26,5        | 24,5                |



|       |                                                                                                     |           |      |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|
| PMO6  | Je-li PMO6 = 0,0, nejedná se o fázi pomalého růstu; je-li PMO6 > 0,0 jedná se o fázi pomalého růstu | 0,35–0,62 | 0,52 |
| TRIFL | Míra tvorby listů na hlavním stonku                                                                 | 0,35–0,50 | 0,41 |

\*GDD: tepelné dny (thermal days)

Pro zpřesnění simulace růstových a výnosových charakteristik a jejich závislosti na teplotě musela být v modelu upravena kardinální teplota (tj. jak teplota ovlivňuje vegetativní i generativní fázi růstu rajčete, fotosyntézu, násadu plodů a tempo růstu a vývoje jednotlivých plodů). Kardinální teploty ( $T_b$  – hraniční teplota,  $T_{opt1}$  a  $T_{opt2}$  – minimální a maximální teplota, při které je rychlost fyziologického procesu nejvyšší,  $T_{max}$  – maximální teplota fyziologického procesu) a letální teploty ( $T_{lmin}$  a  $T_{lmax}$  – letální minimum a letální maximum) popisují zásadní teplotní požadavky rostlinné produkce. Ideální podmínky pro růst a vývoj plodin jsou v intervalu  $T_{opt1}$  a  $T_{opt2}$ . Byly použity nově kalibrované hodnoty vývojových parametrů plodin a plodinových koeficientů pro modely CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper verze 4.8. Parametry vztahující se k plodinovým koeficientům pro model CROPGRO-Tomato jsou uvedeny v Tab. 13.

Tabulka 13. Kardinální teploty vývojových fází rajčete jedlého v DSSAT

| Fyziologický proces / fáze BBCH         | Teplotní nároky<br>(kardinální teploty) [°C] |            |            |           |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|------------|------------|-----------|
|                                         | $T_b$                                        | $T_{opt1}$ | $T_{opt2}$ | $T_{max}$ |
| Rychlost růstu listové plochy / 10–29   | 8,1–10,0                                     | 22,0       | 25,0       | 30,0      |
| Rychlost tvorby květních orgánů / 51–69 | 9,0–10,1                                     | 22,0       | 25,0       | 32,0      |
| Rychlost tvorby plodů a zrání / 71–89   | 10,0–15,0                                    | 25,0       | 30,0       | 35,0      |

$T_b$ : hraniční teplota, při které ustává fyziologický proces;  $T_{opt1}$ : teplotní minimum, při kterém je rychlost fyziologického procesu nejvyšší;  $T_{opt2}$ : teplotní maximum, při kterém je rychlost fyziologického procesu nejvyšší;  $T_{max}$ : maximální teplota fyziologického procesu

## 5.5.2 KALIBRACE ODRŮDOVÝCH RŮSTOVÝCH KOEFICIENTŮ V CROPGRO-CANOLA

Soubor potenciálních růstových koeficientů odrůd řepky ozimé pocházel z polních pokusů, na jejichž základě byly stanoveny růstové koeficienty pro vybrané odrůdy Architect, Temptation a Sněžka (Tab. 14-16).

Tabulka 14. Soubor údajů o hospodaření s plodinami pro výpočet růstových koeficientů pro odrůdu řepky olejky

| Parametry                                 | CHT   |       |       | STV   |       |       | VYS   |       |       |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                           | ART   | TEM   | SNK   | ART   | TEM   | SNK   | ART   | TEM   | SNK   |
| Datum nasazení květů (Dny po vysetí)      | 247   | 242   | 244   | 246   | 240   | 242   | 244   | 246   | 243   |
| Délka rostlin (m)                         | 1,58  | 1,49  | 1,47  | 1,40  | 1,38  | 1,27  | 1,39  | 1,40  | 1,41  |
| Výnos (t ha <sup>-1</sup> )               | 5,12  | 5,63  | 4,40  | 5,11  | 5,41  | 4,93  | 6,15  | 6,13  | 6,40  |
| Index listové plochy, maximální           | 2,84  | 3,39  | 2,58  | 3,54  | 2,68  | 2,86  | 3,10  | 3,43  | 2,94  |
| Datum tvorby první šěšule (Dny po vysetí) | 251   | 250   | 254   | 250   | 248   | 253   | 251   | 253   | 250   |
| Datum sklizňové zralosti (Dny po vysetí)  | 321   | 320   | 320   | 319   | 317   | 316   | 332   | 331   | 330   |
| Výsevek (kg/ha)                           | 3,45  | 2,79  | 4,04  | 3,45  | 2,79  | 4,04  | 3,45  | 2,79  | 4,04  |
| Obsah oleje (%)                           | 49,29 | 51,31 | 49,08 | 49,29 | 51,31 | 49,08 | 49,29 | 51,31 | 49,08 |
| Hmotnost tisíce semen, HTS (g)            | 4,33  | 3,58  | 4,31  | 4,09  | 3,66  | 4,16  | 4,72  | 4,23  | 4,39  |
| Datum sklizně (Dny po vysetí)             | 325   | 323   | 327   | 322   | 320   | 321   | 335   | 334   | 335   |

\*CHT: Chrastava; STV: Staňkov; VYS: Vysoká; ART: Architect; TEM: Temptation; SNK: Sněžka

Tabulka 15. Plodinové koeficienty pro model CROPGRO-Canola

| Parametr | Definice                                                                                                                                 | Rozsah testování | Kalibrované hodnoty |            |        |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|------------|--------|
|          |                                                                                                                                          |                  | Architect           | Temptation | Sněžka |
| EM-FL    | Čas mezi výsevem rostlin a objevením prvního květu (GDD)                                                                                 | 18–48            | 38,5                | 36,0       | 37,5   |
| FL-SH    | Čas mezi objevením prvního květu a prvního plodu (GDD)                                                                                   | 10–20            | 15,5                | 15,0       | 14,5   |
| FL-SD    | Čas mezi prvním květem a prvním semenem (GDD)                                                                                            | 15–35            | 28,5                | 29,0       | 26,0   |
| SD-PM    | Čas mezi prvním semenem a fyziologickou zralostí (GDD)                                                                                   | 20–38            | 28,5                | 27,0       | 25,5   |
| FL-LF    | Čas mezi prvním květem a koncem tvorby listů (GDD)                                                                                       | 0,8–4,0          | 2,0                 | 2,0        | 1,8    |
| LFMAX    | Max. rychlost fotosyntézy při 30 °C, 350 ppm CO <sub>2</sub> a vysoké osvětlenosti (mg CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) | 1–2,5            | 1,20                | 1,30       | 1,10   |

| Parametr     | Definice                                                                                                                      | Rozsah testování | Kalibrované hodnoty |            |        |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|------------|--------|
|              |                                                                                                                               |                  | Architect           | Temptation | Sněžka |
| <b>SLAVR</b> | Specifická listová plocha odrůdy za standardních růstových podmínek (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )                        | 180–350          | 300                 | 296        | 285    |
| <b>SIZLF</b> | Maximální listová plocha všech listů (cm <sup>2</sup> )                                                                       | 80–150           | 107,0               | 108,0      | 106,0  |
| <b>XFRT</b>  | Maximální frakce denního růstu, který byl součástí jak semen, tak šešulí                                                      | 0,8–1,5          | 1,00                | 1,00       | 1,00   |
| <b>WTPSD</b> | Maximální váha semene (g)                                                                                                     | 0,002–0,006      | 0,003               | 0,004      | 0,004  |
| <b>SFDUR</b> | Doba plnění semen za standardních růstových podmínek (GDD)                                                                    | 15–28            | 20,0                | 21,0       | 19,0   |
| <b>SDPDV</b> | Průměrný počet semen na šešuli za standardních růstových podmínek (#/pod)                                                     | 12–25            | 21,0                | 22,0       | 20,0   |
| <b>PODUR</b> | Čas potřebný k dosažení konečné formy plodenství za optimálních podmínek (GDD)                                                | 6–15             | 10,0                | 10,0       | 10,0   |
| <b>PL-EM</b> | Čas mezi výsevem a vzejitím PL-EM (GDD)                                                                                       | 1,2–5,8          | 3,80                | 3,72       | 3,61   |
| <b>EM-V1</b> | Čas mezi vzejitím a prvním pravým listem (GDD)                                                                                | 3–10             | 6,7                 | 6,0        | 6,1    |
| <b>V1-JU</b> | Čas od vytvoření prvního pravého listu do konce juvenilní fáze (GDD)                                                          | 0,0–0,8          | 0,6                 | 0,4        | 0,5    |
| <b>JU-R0</b> | Čas potřebný pro kvetení; je roven minimálnímu času potřebnému pro kvetení při optimální teplotě a délce světelného dne (GDD) | 2–8              | 5,0                 | 5,2        | 5,1    |
| <b>R7-R8</b> | Čas mezi fyziologickou (R7) a sklizňovou zralostí (R8) (GDD)                                                                  | 2–18             | 9,0                 | 10,0       | 8,5    |

GDD – tepelné dny (thermal days)

Tabulka 16. Kardinální teploty vývojových fází řepky

| Fyziologický proces / fáze BBCH         | Teplotní nároky (kardinální teploty) [°C] |                   |                   |                  |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|                                         | T <sub>b</sub>                            | T <sub>opt1</sub> | T <sub>opt2</sub> | T <sub>max</sub> |
| Rychlost růstu listové plochy / 10–29   | 3,0–5,0                                   | 20,0              | 22,0              | 33,0             |
| Rychlost tvorby květních orgánů / 51–69 | 7,0                                       | 21,0              | 23,0              | 30,0             |
| Rychlost tvorby plodů a zrání / 71–89   | 10,0                                      | 23,0              | 25,0              | 35,0             |

### 5.5.3 HODNOCENÍ MODELU

Při kalibraci modelu byly současně použity údaje o fenologických fázích rostlin, jako je vzejití, kvetení, index listové plochy, nadzemní biomasa na základě dnů po výsadbě (setí), tvorba plodů, fyziologická zralost a sklizňová zralost. Hodnoty nadzemní biomasy byly pro kalibraci a vyhodnocení modelu vyjádřeny v sušině. Jelikož odrůdy TORNÁDO F1, Superamy F1, Architect, Temptation a Sněžka nebyly zahrnuty v databázi odrůd DSSAT, byly do databáze přidány jako nové odrůdy a jejich parametry byly doplněny na základě souboru polních experimentálních údajů. Použili jsme nově kalibrované hodnoty ekotypového souboru a koeficienty odrůdy pro nadzemní biomasu a LAI. Simulovaná data hodnoty LAI a nadzemní biomasy byla porovnána s pozorovanými daty. Statistickým ukazatelem výkonnosti použitým v této studii byla střední kvadratická chyba (RMSE), která byla vypočtena pomocí rovnice (2). Nižší hodnota RMSE znamenala menší rozdíly mezi simulovanými a pozorovanými hodnotami.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

kde  $Y_i$  = pozorovaná hodnota,  $\hat{Y}_i$  = simulovaná hodnota,  $\bar{Y}_i$  = průměr simulované hodnoty,  $\bar{Y}$  = průměr pozorované hodnoty a  $n$  = počet pozorování.



### 6.1 MODELOVÁNÍ RŮSTU, VÝVOJE A VÝNOSOVÝCH PARAMETRŮ TEPLOMILNÝCH ZELENIN

#### 6.1.1 Experimentální výnos rajčat odrůdy TORNÁDO F1 a papriky odrůdy Superamy F1

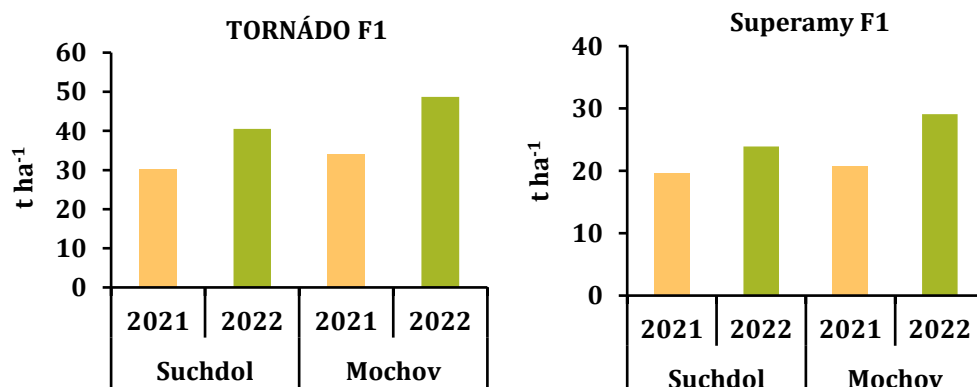
Dynamické růstové modely (sloužící pro simulaci růstu plodin) zde vyhodnocují vliv variability počasí na simulované procesy růstu rostlin a vývoje výnosových parametrů. Vegetační období bylo v roce 2021 studené a vlhké, oproti tomu byl rok 2022 teplý se střídáním suchých období a normálních srážek. Na lokalitách Suchdol i Mochov se v roce 2021 vyskytovaly normální povětrnostní podmínky přibližně 60 % celkové vegetační doby od května do září. Včasná výsadba rostlin rajčat a následné ideální povětrnostní podmínky jsou zárukou časně sklizně a kvalitní produkce. Termín výsadby rajčat je limitován počátkem bezmrazového období. Datum výsadby v pokusných letech spadalo do bezmrazového období. V době přesazování rostlin bylo v roce 2021, které proběhlo 25. května, na obou lokalitách mírně studené období (odchylka od normálu  $-2,4$  °C). V období kvetení a tvorby plodů byla teplotní odchylka od normálu od  $+1,6$  °C (mírně teplé období) až po  $-0,2$  °C (studené období) na obou pokusných lokalitách. V období zrání plodů panovalo chladnější období (odchylka od normálu  $-2,2$  °C), avšak ve sklizňovém období bylo teplo a sucho. Na základě evidence polního pokusu v roce 2021 lze uvést následující negativní vlivy: zpoždění výsadby dva týdny; velmi chladný a vlhký počátek vegetace. Tyto negativní faktory pak zpomalily růst generativních orgánů u rajčat a papriky.

Ve vegetačním období 2022 se vzhledem k vysokým teplotám v květnu přesazování sazenic na pole uskutečnilo dříve, a to 13. května. Na obou pokusných lokalitách převládalo mírně až silně teplé počasí po dobu přibližně 40 % celkové vegetační doby. V květnu bylo mírně teplé období s odchylkou  $+2,2$  °C od normálu a mírné sucho (57 % srážek oproti normálu). Na lokalitě Praha-Suchdol bylo období kvetení silně teplé (odchylka od normálu  $+2,3$  °C) a zároveň mimořádně vlhké (256 % normálu úhrnu srážek; v krátkém časovém období spadlo dvojnásobné množství srážek). V Mochově proběhlo kvetení rostlin v teplých a srážkově normálních podmínkách. V druhé části vegetačního období se na obou lokalitách vystřídaly studený a suchý červenec, normální srpen a studené září. Přestože v roce 2022 bylo vegetační období pro odrůdy TORNÁDO F1 a Superamy F1 obecně kratší,

suma efektivních teplot pro dozrání teplomilných zelenin byla na rozdíl od předchozího roku vysoká.

TORNÁDO F1 je indeterminantní odrůda s 10–11 trsy plodů na rostlině, z nichž v teplých letech dosáhne tržní zralosti pouze 6–7 trsů (v roce 2022). Vzhledem k nízkým teplotám v roce 2021 byl růst, vývoj a dozrávání plodů rajčat velmi pomalý, podařilo se dozrát pouze prvním 4 trsům na Suchdole a 5 trsům v Mochově. Hmotnost sklizených plodů přepočtených na hektarový výnos odrůdy TORNÁDO F1 byla vyšší v tradiční zelinářské oblasti středního Polabí v Mochově než na lokalitě Praha-Suchdol.

V roce 2021 byl celkový výnos probírkové sklizně rajčat odrůdy TORNÁDO F1 30,3 t ha<sup>-1</sup> na Suchdole a 34,2 t ha<sup>-1</sup> v Mochově (Obr. 7). Největší množství plodů bylo sklizeno v probírkových termínech 26. 8. až 5. 9. Rok 2022 byl teplejší než předchozí rok, což se projevilo na výnosech rajčat. Výsledný výnos odrůdy TORNÁDO F1 byl 40,5 t ha<sup>-1</sup> na Suchdole a 48,7 t ha<sup>-1</sup> v Mochově. Nejvyššího výnosu probírkové sklizně bylo dosaženo v období 16. 8. až 25. 8. s mírným poklesem ke konci sezóny. V roce 2021 výnos paprik odrůdy Superamy F1 dosáhl hodnoty 11,5 t ha<sup>-1</sup> v Mochově a 7,9 t ha<sup>-1</sup> na Suchdole. Nejvyšší sklizeň byla dosažena v termínech 1. 8. až 10. 8. a 22. 8. až 1. 9. V roce 2022 se v Mochově sklizeň zdvojnásobila na 28,1 t ha<sup>-1</sup> a na Suchdole na 17,7 t ha<sup>-1</sup>. Díky vegetačnímu období s teplými a suchými podmínkami byl již od první probírkové sklizně (10. 7. až 25. 7.) dosažen vysoký výnos, což je pro pěstitele rentabilní s ohledem na získání vyšší tržní ceny.



Obr. 7. Celkový výnos probírkové sklizně rajčat odrůdy TORNÁDO F1 a paprik odrůdy Superamy F1 v letech 2021–2022



Stav porostu na pokusném pozemku v Mochově na konci vegetačního období 25. září 2021. Kvůli nízkým teplotám v druhé polovině srpna rostlina nadále kvetla a plodila, ale nebylo dosaženo kumulativní efektivní teploty pro dozrání plodů.

### **Sumarizace sdružených meteorologických jevů během vegetačního cyklu plodin:**

- 1) Dominantní typ nepříznivé situace v nejteplejší oblasti Polabí pro produkci rajčat je výskyt stresu z nízkých teplot a nárůst délky trvání vlhkého období v citlivých fázích růstu, který vede k rychlému poškození plodů a výnosovým propadům.
- 2) Při překročení počtu suchých dní nad rámec stanovené hranice četnosti výskytu tohoto jevu došlo ke snížení výnosu. Pokud se tento jev vyskytoval v září, pak podpořil dozrávání plodů a měl pozitivní vliv na výnos (navýšení výnosu o 21 %).
- 3) Velkou ztrátu na výnosech způsobilo střídání extrémně vlhkých a suchých období s nejdelší dobou trvání v klíčové fázi zrání plodů, kdy výnos klesl o 48 %. Avšak největší podíl na ztrátách výnosu měly intenzivní srážky, které se vyskytly v průběhu července a srpna.
- 4) Teplotní stres se vyskytl převážně v červenci a vedl ke snížení výnosu o 33 %, a to proto, že vysoké teploty u rajčat způsobují poruchu tvorby květů a zhoršují opylení.

### 6.1.2 Monitorování experimentální hmotnosti suché nadzemní biomasy odrůd Tornádo F1 a Superamy F1

Soubor experimentálních hmotností suché nadzemní biomasy rostlin se skládal ze tří částí: listů, stonků a generativních částí (Tab. 17–20). V generativní části jsou zahrnuty tyto fáze: tvorba květů ve fenologické růstové fázi BBCH 51, kvetení (BBCH 61), tvorba plodů (BBCH 71) a zrání plodů (BBCH 81).

Tabulka 17. Vývoj hmotnosti suché nadzemní biomasy odrůdy TORNÁDO F1 ve vegetačním období 2021

| Datum     | Číslo odběru | Nadzemní biomasa (g sušiny na rostlinu) |        |        |         |        |        |
|-----------|--------------|-----------------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
|           |              | Mochov                                  |        |        | Suchdol |        |        |
|           |              | List                                    | Stonek | Gener. | List    | Stonek | Gener. |
| 25.5.2021 | 0            | 2,2                                     | 0,2    | 0      | 2,2     | 0,2    | 0      |
| 10.6.2021 | 1            | 6,2                                     | 2,6    | 0,1    | 6,0     | 4,0    | 0      |
| 28.6.2021 | 2            | 17,8                                    | 7,0    | 0,8    | 19,0    | 8,6    | 0,2    |
| 13.7.2021 | 3            | 87,2                                    | 27,4   | 20,4   | 53,6    | 20,4   | 1,9    |
| 26.7.2021 | 4            | 97,6                                    | 47,2   | 76,3   | 54,9    | 20,9   | 24,2   |
| 9.8.2021  | 5            | 103,4                                   | 62,9   | 135,1  | 59,8    | 33,1   | 64,2   |
| 23.8.2021 | 6            | 157,2                                   | 64,4   | 175,5  | 61,6    | 37,1   | 145,7  |
| 5.9.2021  | 7            | 141,9                                   | 65,8   | 188,5  | 80,4    | 40,1   | 132,9  |
| 18.9.2021 | 8            | 105,2                                   | 65,9   | 120,9  | 75,7    | 41,5   | 128,2  |
|           | Celkem       | 718,7                                   | 343,4  | 717,6  | 413,2   | 205,9  | 497,3  |

Teplotní i srážkové extrémy obou ročníků se projevily i na vývoji nadzemní biomasy rostlin rajčete a papriky. Hmotnosti biomasy listů a stonků pro odrůdy TORNÁDO F1 a Superamy F1 vykazovaly vyšší hodnoty za chladných a vlhkých podmínek v roce 2021 ve srovnání s teplými a suchými podmínkami v roce 2022. Hmotnost biomasy generativních orgánů však byla nižší v roce 2021 ve srovnání s rokem 2022. Rozhodujícím rizikovým faktorem pro tvorbu generativních částí rajčat byl v roce 2021 teplotní stres způsobený velkými rozdíly mezi teplotami vzduchu ve dne a v noci během fáze kvetení. V roce 2022 představovaly významný nepříznivý faktor nízké noční teploty a silné deště v druhé polovině července. Z níže uvedené tabulky vyplývá, že množství biomasy získané z listů v roce 2021 bylo vyšší než v roce 2022. Chladnější podmínky přispěly k nárůstu biomasy. Kvůli nízkým teplotám a nízké intenzitě světla se generativní části nevyvíjely nebo se jejich vývoj přerušil. Rostlina tak přeměrovala energii a živiny do vývoje listů.



Tabulka 18. Vývoj hmotnosti suché nadzemní biomasy odrůdy Superamy F1 ve vegetačním období 2021

| Datum     | Číslo odběru | Nadzemní biomasa (g sušiny na rostlinu) |        |        |         |        |        |
|-----------|--------------|-----------------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
|           |              | Mochov                                  |        |        | Suchdol |        |        |
|           |              | List                                    | Stonek | Gener. | List    | Stonek | Gener. |
| 25.5.2021 | 0            | 0,8                                     | 0,04   | 0      | 0,8     | 0,04   | 0      |
| 10.6.2021 | 1            | 1,4                                     | 0,6    | 0      | 1,2     | 0,6    | 0      |
| 28.6.2021 | 2            | 4,9                                     | 4,6    | 0,2    | 1,8     | 0,7    | 0,1    |
| 13.7.2021 | 3            | 11,4                                    | 6,6    | 2,0    | 6,6     | 2,8    | 2,4    |
| 26.7.2021 | 4            | 23,4                                    | 26,1   | 20,1   | 7,0     | 3,6    | 19,9   |
| 9.8.2021  | 5            | 36,9                                    | 31,6   | 40,4   | 14,8    | 10,1   | 35,6   |
| 23.8.2021 | 6            | 41,9                                    | 40,3   | 42,1   | 18,5    | 10,6   | 25,2   |
| 5.9.2021  | 7            | 54,1                                    | 60,6   | 43,6   | 19,2    | 11,1   | 27,4   |
| 18.9.2021 | 8            | 55,2                                    | 61,4   | 12,8   | 19,9    | 11,9   | 15,2   |
|           | Celkem       | 230,0                                   | 231,8  | 161,2  | 89,8    | 51,4   | 125,8  |

Tabulka 19. Vývoj hmotnosti suché nadzemní biomasy odrůdy TORNÁDO F1 ve vegetačním období 2022

| Datum     | Číslo odběru | Nadzemní biomasa (g sušiny na rostlinu) |        |        |         |        |        |
|-----------|--------------|-----------------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
|           |              | Mochov                                  |        |        | Suchdol |        |        |
|           |              | List                                    | Stonek | Gener. | List    | Stonek | Gener. |
| 13.5.2022 | 0            | 0,21                                    | 0,05   | 0      | 0,2     | 0,05   | 0      |
| 1.6.2022  | 1            | 2,66                                    | 0,6    | 0,4    | 4,1     | 0,6    | 0      |
| 16.6.2022 | 2            | 20,7                                    | 6,6    | 33,8   | 8,3     | 1,9    | 1,1    |
| 7.7.2022  | 3            | 78,2                                    | 23,1   | 155,1  | 48,6    | 5,9    | 13,2   |
| 22.7.2022 | 4            | 85,5                                    | 29,8   | 163,4  | 57,1    | 31,1   | 136,2  |
| 8.8.2022  | 5            | 101,2                                   | 48,3   | 208,1  | 62,9    | 32,8   | 148,6  |
| 22.8.2022 | 6            | 127,4                                   | 63,5   | 207,5  | 77,8    | 38,8   | 167,6  |
| 6.9.2022  | 7            | 123,7                                   | 64,1   | 156,3  | 97,1    | 49,2   | 152,7  |
| 21.9.2022 | 8            | 93,4                                    | 64,4   | 106,3  | 82,8    | 51,9   | 144,8  |
|           | Celkem       | 632,97                                  | 300,45 | 1030,9 | 438,9   | 212,25 | 764,2  |

Tabulka 20. Vývoj hmotnosti suché nadzemní biomasy odrůdy Superamy F1 ve vegetačním období 2022

| Datum     | Číslo odběru | Nadzemní biomasa (g sušiny na rostlinu) |        |        |         |        |        |
|-----------|--------------|-----------------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
|           |              | Mochov                                  |        |        | Suchdol |        |        |
|           |              | List                                    | Stonek | Gener. | List    | Stonek | Gener. |
| 13.5.2022 | 0            | 0,7                                     | 0,4    | 0      | 0,7     | 0,4    | 0      |
| 1.6.2022  | 1            | 1,4                                     | 0,7    | 0      | 0,9     | 0,1    | 0      |
| 16.6.2022 | 2            | 6,3                                     | 3,1    | 0,3    | 3,4     | 1,8    | 0,3    |
| 7.7.2022  | 3            | 12,1                                    | 8,3    | 5,3    | 9,7     | 2,5    | 0,5    |
| 22.7.2022 | 4            | 16,6                                    | 12,5   | 6,3    | 18,1    | 5,3    | 2,1    |
| 8.8.2022  | 5            | 25,1                                    | 16,4   | 41,8   | 32,4    | 15,2   | 3,8    |
| 22.8.2022 | 6            | 32,1                                    | 22,4   | 37,7   | 34,6    | 20,9   | 22,1   |
| 6.9.2022  | 7            | 33,3                                    | 22,9   | 52,7   | 34,4    | 20,9   | 35,1   |
| 21.9.2022 | 8            | 29,7                                    | 21,4   | 30,8   | 38,5    | 23,4   | 37,7   |
|           | Celkem       | 157,3                                   | 108,1  | 174,9  | 172,7   | 90,5   | 101,6  |



V případě hmotnosti generativních částí vykazovaly jak Tornádo F1, tak Superamy F1 vyšší hodnoty za teplých a normálních srážkových podmínek v roce 2022 než za chladných a vlhkých podmínek v roce 2021 na obou pokusných lokalitách. Hmotnost generativních částí u odrůdy Tornádo F1 se na lokalitě Mochov v roce 2022 zvýšila o 43 % (1030,9 g sušiny na rostlinu) oproti roku 2021 (717,6 g sušiny na rostlinu). Na lokalitě Suchdol se zvýšila oproti roku 2021 o cca 53 %. U odrůdy Superamy F1 se hmotnost generativních částí zvýšila o 8,7 % na lokalitě Mochov a o 24,5 % na lokalitě Suchdol v roce 2022 oproti roku 2021.

### Sumarizace pokusných výsledků:

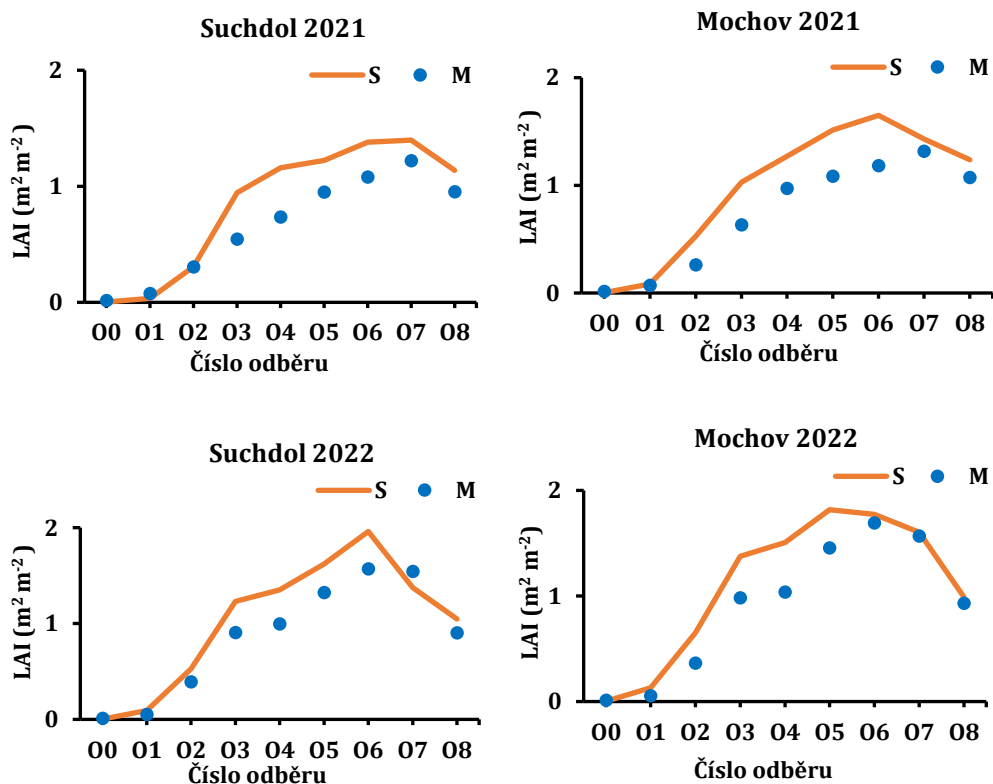
- Odrůda TORNÁDO F1 na lokalitě Suchdol měla v porovnání s lokalitou Mochov nižší hodnoty hmotnosti suché nadzemní biomasy a pozvolnější a pozdnější nástup generativních vývojových fází.
- Distribuce sušiny v nadzemní biomase rostlin rajčete byla nerovnoměrná. Na generativní orgány připadalo ve studeném období 25 % a v teplém období až 52 % suché biomasy. V teplém vegetačním období vykazovaly nejvyšší dynamiku růstu generativní orgány.
- Maximální hodnota přírůstku suché biomasy byla stanovena na lokalitě Mochov v období 2022. U pokusných rostlin papriky na obou pokusných lokalitách připadalo až 34–39 % suché biomasy na generativní orgány.
- Nejvyšší relativní rychlost růstu a současně největší přírůstek suché biomasy vykazovaly generativní orgány rajčete. Naopak nejnižší hodnoty byly stanoveny u stonků rostlin v teplém a suchém období.
- Z předchozích pokusů s odrůdou Thomas F1 (Potop a Türkott, 2014, Potopová *et al.*, 2017) vychází poměr hmotnosti plodů k hmotnosti celkové biomasy v rozmezí 0,58–0,60. Pokusné rostliny rajčat TORNÁDO F1 na lokalitách Mochov a Suchdol měly maximální hodnotu tohoto poměru 0,52, resp. 0,54.

#### 6.1.3 Simulovaný a pozorovaný vývoj LAI u rajčat a paprik

Srovnání simulovaného LAI s pozorovanými hodnotami u tržní odrůdy Thomas F1 pěstované ve volných polních podmínkách na lokalitě Praha-Suchdol a v Mochově bylo pro pokusné roky 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 a 2020 opublikováno v odborném časopise (Muntean *et al.*, 2021). V této metodice uvádíme výsledky pro tržní rajče odrůdy TORNÁDO F1 pěstovaného v polních podmínkách v pokusných letech 2021 a 2022 v Mochově a v Praze-Suchdole. Srovnání simulovaného LAI s pozorovanými hodnotami u tržní odrůdy rajčete

TORNÁDO F1 pěstovaného v polních podmínkách pro pokusný rok 2021 je znázorněno na Obr. 8. Maximální hodnoty LAI ( $1,690 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) dosáhla rajčata odrůdy TORNÁDO F1 na lokalitě Mochov 235. den v roce 2022. Na lokalitě Suchdol činila maximální hodnota LAI v tomto roce  $1,571 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . V pokusném roce 2021 bylo nejvyšších hodnot LAI ( $1,22$  a  $1,39 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) dosaženo 248. den v roce na obou lokalitách.

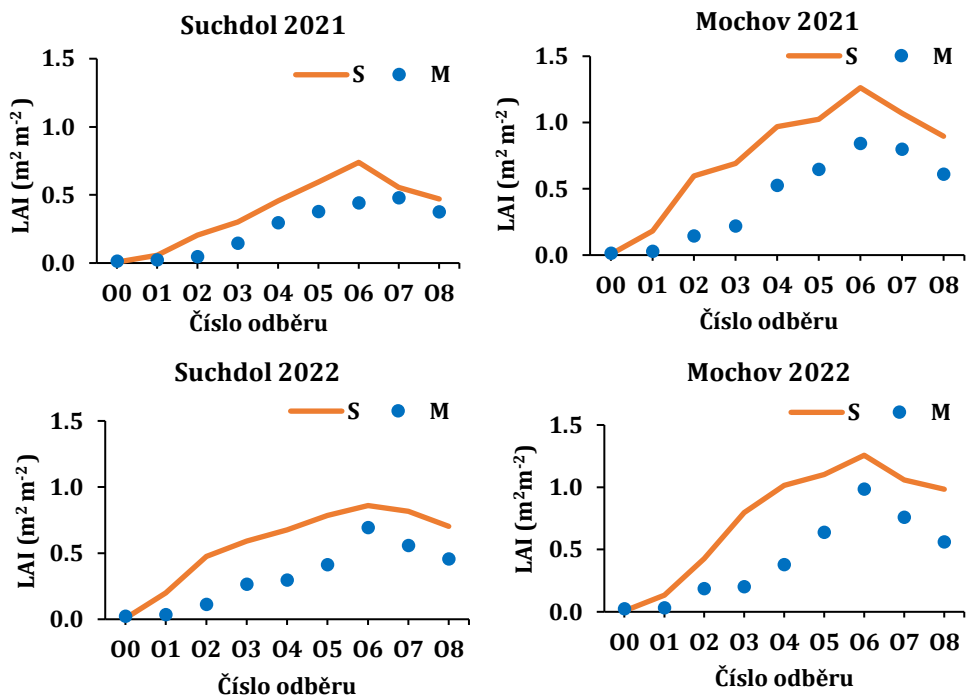
Hodnoty LAI simulované modelem byly podhodnoceny v rozmezí  $0,25$  až  $0,29 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  na obou lokalitách. Za horkého a suchého počasí v roce 2022 však nejvyšší simulované hodnoty LAI pro odrůdu TORNÁDO F1 činily  $1,96 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  na lokalitě Suchdol a až  $1,82 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  na lokalitě Mochov. V tomto vegetačním období tedy model podhodnotil hodnoty LAI v rozmezí  $0,24$  až  $0,26 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  pro lokality Suchdol a Mochov.



Obr. 8. Grafické znázornění naměřených a simulovaných hodnot indexu listové plochy (LAI) u rajčete odrůdy TORNÁDO F1 na pokusných lokalitách Mochov a Praha-Suchdol v letech 2021 a 2022

$LAI_{max}$  u pokusných rostlin papriky odrůdy Superamy F1 měla hodnotu  $0,910 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  na lokalitě Mochov na konci vegetačního období 2022. V tomto vegetačním období byla nejvyšší simulovaná hodnota LAI  $0,86 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$

a 1,27  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$  v Praze-Suchdole a v Mochově. Model nadhodnotil hodnoty LAI v rozmezí od 0,24 do 0,26  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$  pro obě pokusné lokality (Obr. 9).



Obr. 9. Grafické znázornění naměřených a simulovaných hodnot indexu listové plochy (LAI) u papriky odrůdy Superamy F1 na pokusných lokalitách Mochov a Praha-Suchdol v letech 2021 a 2022

### Sumarizace pokusných a modelových výsledků:

- Listová plocha je důležitým indikátorem, který určuje růst a produkci plodin. Snižování hodnoty LAI odstraňováním starých, ale i některých mladých listů je jednou z metod optimalizace výnosu. Byl prokázán pozitivní účinek redukce LAI u rostlin rajčete Thomas F1 (Muntean *et al.*, 2021) a TORNÁDO F1 v polních podmínkách Polabí na zvýšení výnosu o 10–15 %.
- S redukcí listové plochy souvisí i množství suché biomasy. Velikost LAI se nejlépe reguluje hustotou porostu rajčat. Porosty s nedostatečně vyvinutou listovou plochou a malým počtem jedinců (nízká hodnota LAI) propouští značné množství nevyužitého slunečního záření na půdu. Konec vegetačního období u rostlin rajčat je doprovázený opadem starých listů, popř. chorobami poškozených listů v dolní části rostliny. Nově se

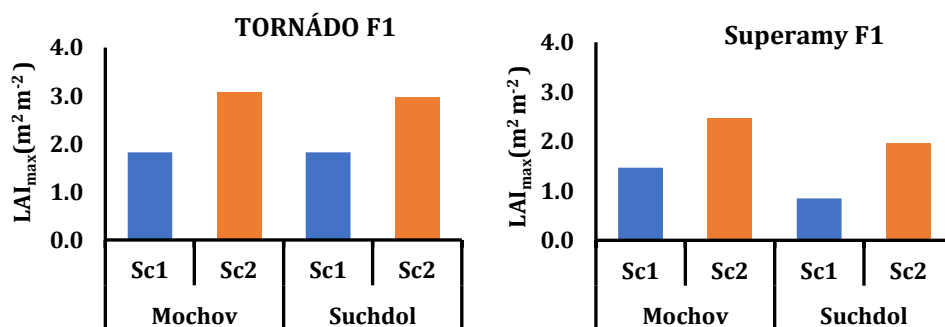
vytvářející listová plocha v apikální části stonku tyto ztráty nedoplní, a to se projeví poklesem listové plochy a na ní závislých charakteristik.

- V obdobích s teplotními a srážkovými anomáliemi byla chyba modelu v hodnotě LAI na obou lokalitách největší. Při aplikaci modelu v podmínkách ČR použitý model CROPGRO-Tomato při simulaci LAI nadhodnocoval její hodnotu v porovnání s naměřenými daty na pokusných lokalitách, a to především v obdobích s teplotními anomáliemi. Při porovnávání výsledků simulace s daty z polního pokusu byly největší rozdíly zaznamenány v obdobích s kombinovaným stresem. V takových situacích model nadhodnocoval výsledek v porovnání s polním pokusem.

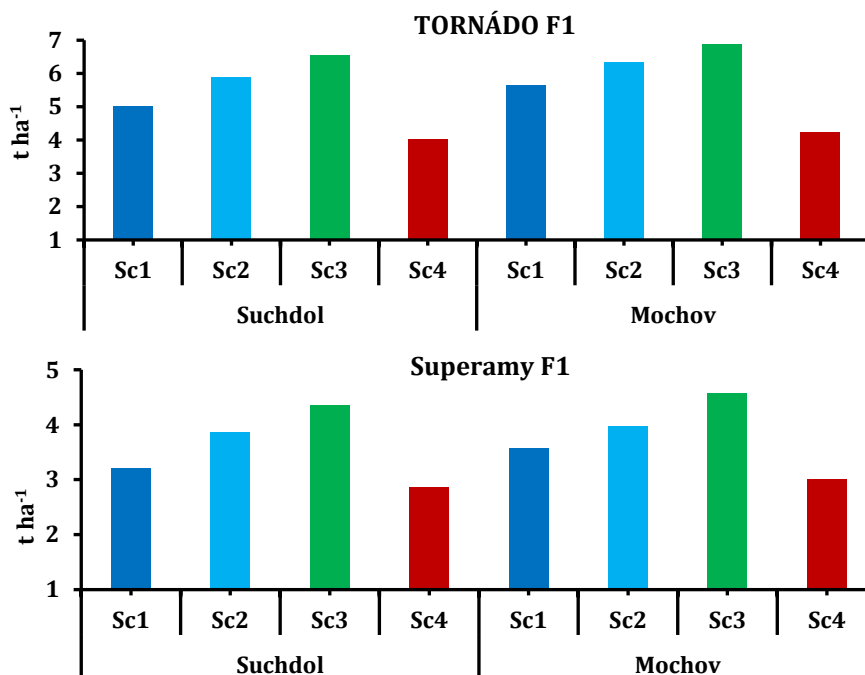
#### 6.1.4 Tvorba scénářů při simulaci výnosových parametrů teplomilných polních zelenin v souvislosti se změnou klimatu

Predikce výnosu byla provedena pomocí modelů CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper (v4.8) na základě experimentálních dat o hospodaření s plodinami, souboru dat o půdním profilu, denních meteorologických dat z experimentálních lokalit a genetického koeficientu pro konkrétní odrůdy rajčete a papriky. V environmentálním modulu DSSAT byly vytvořeny následující teplotní scénáře v kombinaci se zvýšením koncentrace CO<sub>2</sub> a poklesem nebo nárůstem srážek:

- Sc1 – současné klima (klima v době provádění polních pokusů),
- Sc2 – kombinace zvýšení teploty vzduchu o 1 °C a nárůst úhrnu srážek o 25 % při aktuální koncentraci CO<sub>2</sub> (421 ppm),
- Sc3 – zvýšení teploty vzduchu o 2 °C a nárůst koncentrace CO<sub>2</sub> na 670 ppm oproti současnému stavu a při aktuální variabilitě srážek,
- Sc4 – kombinace zvýšení teploty vzduchu o 4 °C, pokles úhrnu srážek o 50 % a zvýšení fertilizačního efektu na úroveň 936 ppm CO<sub>2</sub>.



Obr. 10. Simulace indexu maximální listové plochy rajčete odrůdy TORNÁDO F1 a papriky Superamy F1 za současného stavu (Sc1) a za scénáře se zvýšením teploty vzduchu o 1 °C a nárůstem úhrnu srážek o 25 % (Sc2)



Obr. 11. Simulace výnosů sklizně rajčat odrůdy TORNÁDO F1 a paprik odrůdy Superamy F1 podle současných a budoucích klimatických scénářů. Jednotkou výnosu je sušina v  $t\ ha^{-1}$

Různé úrovně změny teploty vzduchu v kombinaci s různými úrovněmi srážek a koncentracemi  $CO_2$  jako indikátory změny klimatu mohou odhalit zákonitosti v citlivosti simulací výnosových parametrů plodin a/nebo vlastností testovaných odrůd. Zvyšující se hodnotou  $LAI_{max}$  dochází ke zvyšování výnosu rajčat TORNÁDO F1, avšak jen do určité hranice. Dále závisí na odrůdě, struktuře porostu a ročníku. Model simuloval nejvyšší  $LAI_{max}$  u obou odrůd dle scénáře se zvýšením teploty vzduchu o  $1\ ^\circ C$ , nárůstem úhrnu srážek o 25 % a beze změn koncentrace  $CO_2$  (Sc2). Dle Sc2 se  $LAI_{max}$  u odrůdy TORNÁDO F1 pohyboval v rozmezí  $2,96$  až  $3,06\ m^2\ m^{-2}$  a u odrůdy Superamy F1 v rozmezí  $1,97$  až  $2,47\ m^2\ m^{-2}$  (Obr. 10-11). Nejvyšší simulovaný výnos na všech pokusných lokalitách u všech odrůd byl získán dle scénáře se zvýšením teploty vzduchu o  $2\ ^\circ C$  a nárůstem koncentrace  $CO_2$  na 670 ppm (Sc3). U teplomilných druhů zeleniny výsledky simulace poukázaly na závažnější ztráty výnosu dle Sc4. Důvodem je skutečnost, že předpokládaný výskyt sdružených událostí nárůstu teploty a období sucha má tendenci minimalizovat příznivý účinek vyšších koncentrací oxidu uhličitého.

Zvýšení teploty vzduchu totiž způsobuje nárůst zavlažování potřebného k uspokojení potřeby vody, což snižuje účinnost zavlažování.

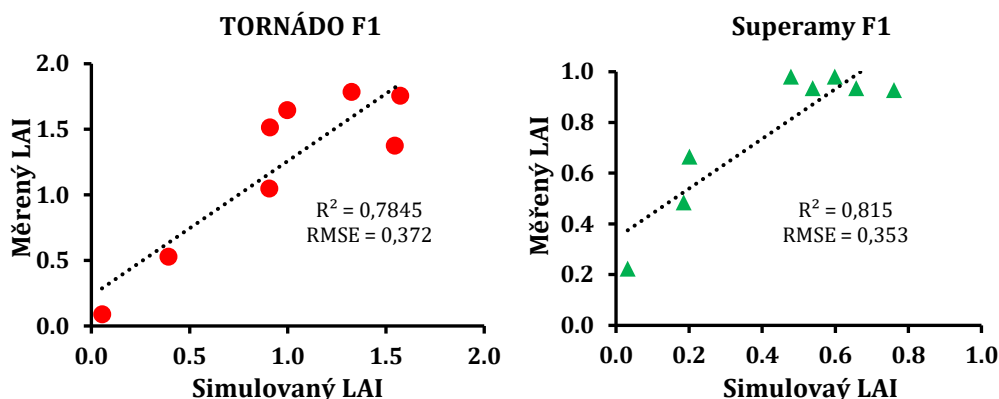
### **Z modelové simulace a pokusných výsledků je patrné, že:**

- 1) Hlavním benefitem růstových modelů hospodářských plodin je simulace výnosu. Dlouhodobá stabilita výnosů je hlavním předpokladem rentabilního pěstování a hospodářského zisku. Simulační modely CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper, které zachycují fyziologické reakce teplomilných zelenin, poskytují nástroj pro studium toho, jak může změna klimatu ovlivnit výnosové parametry odrůd v různých agroklimatických podmínkách.
- 2) Medián simulovaných výnosů při aktuální koncentraci CO<sub>2</sub>, zvýšení teploty vzduchu o 1 °C a nárůstu úhrnu srážek o 25 % vykazoval o 21 % vyšší výnos oproti mediánu experimentálních dat.
- 3) Při porovnávání výsledků simulace se zvýšením CO<sub>2</sub> na úroveň scénáře Sc2 s daty z polního pokusu model nadhodnocoval výsledky v porovnání s polním pokusem. To znamená, že při souběžném zvýšení teploty vzduchu o 2 °C, nárůstu koncentrace CO<sub>2</sub> na 670 ppm oproti současnému stavu a při aktuální variabilitě srážek model odhaduje vyšší plodnost rajčat a paprik. Tento pozitivní efekt převyšuje negativní působení zvýšené teploty vzduchu a variability srážek (za podmínky aplikace závlah).

#### **6.1.5 Hodnocení statistiky výkonnosti modelů CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper**

S cílem vyhodnotit výkonnost modelů CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper během pokusného roku 2022 bylo provedeno srovnání simulovaného LAI s pozorovaným LAI dvou teplomilných druhů zeleniny (odrůda TORNÁDO F1 pro rajče a odrůda Superamy F1 pro papriku) pěstovaných v polních podmínkách. Slušná shoda mezi simulovaným a naměřeným LAI a statistikou výkonnosti modelu určuje přesnost modelů při kalibraci. Z experimentální lokality Praha-Suchdol vyplynula z výkonnostní statistiky při kalibraci modelu CROPGRO-Tomato pro odrůdu TORNÁDO F1 spolehlivost dat s hodnotami  $R^2 = 0,78$  a  $RMSE = 0,37$  (Obr. 12). Pro odrůdu Superamy F1 model CROPGRO-Pepper při kalibraci modelu odhadl dobrou shodu mezi simulovaným a pozorovaným LAI s uspokojivou statistikou výkonnosti modelu s  $R^2 = 0,81$  a  $RMSE = 0,35$  na experimentální lokalitě Mochov (Obr. 12). Celkově výsledky kalibrace prokázaly schopnost modelů CROPGRO-Tomato a CROPGRO-Pepper simulovat růstové charakteristiky rajčat a paprik v současných a předpokládaných klimatických podmínkách. Tyto výsledky lze využít

pro budoucí implementaci vhodných strategií pro teplomilné systémy produkce zeleniny.



Obr. 12. Vyhodnocení simulovaného indexu listové plochy (LAI) s naměřenými hodnotami LAI u rajčete (odrůda TORNÁDO F1) a papriky (odrůda Superamy F1) v polních podmínkách během pokusného roku 2022

## 6.2 PROJEKCE MODELOVÁNÍ PERSPEKTIVNÍCH OBLASTÍ Z POHLEDU PĚSTOVÁNÍ RAJČAT

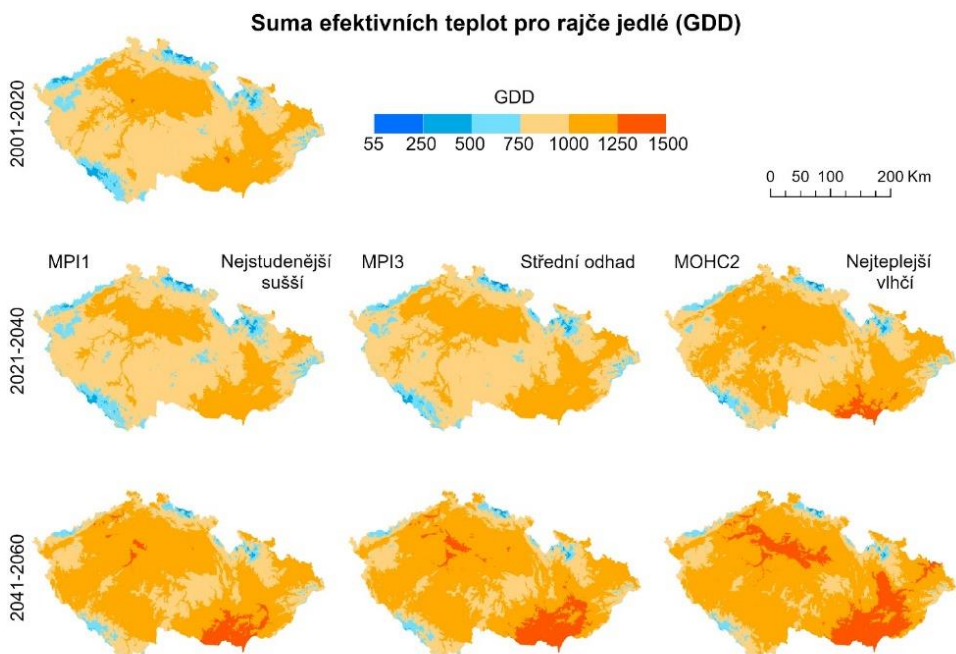
Dvě významné zelinářské oblasti v ČR, jižní Morava a Polabí, mají částečně odlišný sortiment pěstovaných druhů zeleniny. Polabí je oblastí tradičního a rentabilního pěstování převážně košťálové zeleniny, jejíž produkce není tak ekonomicky zajímavá v porovnání s plodovou zeleninou. Oproti tomu je na jižní Moravě možné pěstovat i plodovou zeleninu a dosahovat u ní dobrých ekonomických výsledků. Odlišnosti v sortimentu pěstovaných zelenin jsou způsobeny převážně rozdíly teplotních poměrů těchto lokalit. V nejteplejších částech Polabské nížiny začíná být rentabilní pěstování rajčete jedlého, lilku vejcoplodého a papriky roční (Potop *et al.*, 2011c, 2012a, 2013, 2014c, d, e). V důsledku probíhající klimatické změny s předpokládaným zvýšením teploty (Potopová *et al.*, 2015b, 2016c, d, e), vyšším nákladům na dovoz zelenin, požadavkům na zralost a kvalitu a příznivé agrární politice lze očekávat rozšíření plodových zelenin i mimo oblast jižní Moravy, a to právě do Polabí.

### 6.2.1 Mapování změny teplotního zabezpečení dozrání rajčete jedlého v současném (2001–2020) a očekávaném klimatu (2021–2040 a 2041–2060) na území ČR

Část výzkumu je zaměřena na vytvoření map prostorové distribuce agroklimatologických charakteristik vztahujících se k pěstování rajčat. Tato studie



řeší otázku aplikace různých regionálních klimatických modelů (RCM) pro nástin teplotních podmínek pro plné dozrání odrůd rajčat na území České republiky. Očekávaný teplotní vzestup, který se projeví dřívějším dosažením teplotních sum nutných pro dosažení technické zralosti, by měl vytvořit dostatečné teplotní podmínky pro pěstování teplomilných zelenin i v dosud chladnějších oblastech (Obr. 13, Tab. 21).

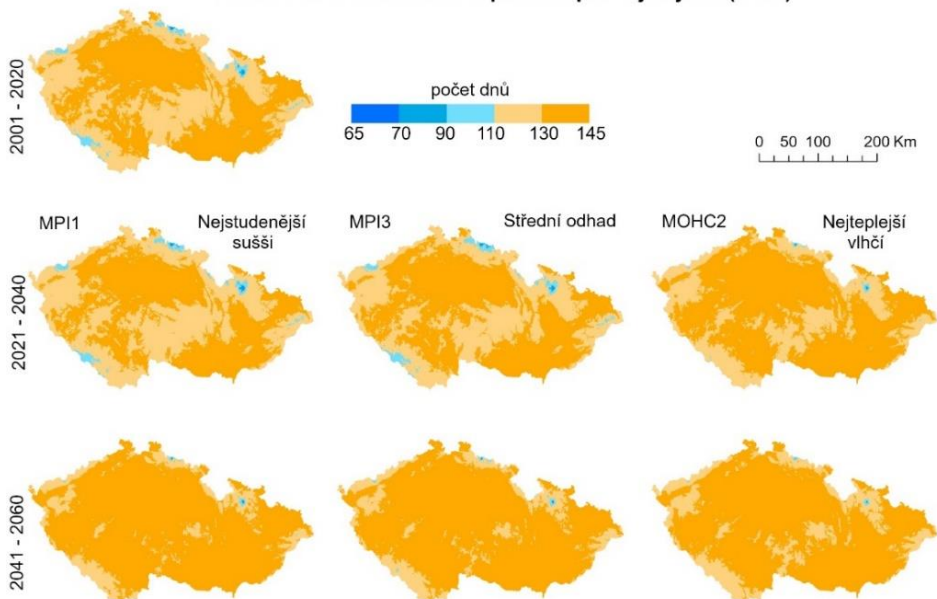


Obr. 13. Pozorované a modelované změny teplotního zabezpečení rajčete jedlého dle scénáře RCP8.5 a pro ansámbl RCM modelů: střední odhad (MPI3), nejteplejší a zároveň vlhčí model (MOHC2) a nejchladnější a zároveň sušší model pro časové horizonty 2021–2040, resp. 2041–2060 s referenčním obdobím 2001–2020 na území České republiky

Tabulka 21. Časové a prostorové změny teplotního zabezpečení (GDD, °C) rajčete jedlého v současném (2001–2020) a očekávaném klimatu (2021–2040 a 2041–2060) na území ČR

| GDD, °C  | 2001–2020        |                                        | 2021–2040        |                                      |                                        | 2041–2060        |                                      |
|----------|------------------|----------------------------------------|------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------|--------------------------------------|
|          | současný stav, % | nejchladnější a zároveň sušší model, % | střední odhad, % | nejteplejší a zároveň vlhčí model, % | nejchladnější a zároveň sušší model, % | střední odhad, % | nejteplejší a zároveň vlhčí model, % |
| 0–500    | 1,32             | 1,10                                   | 0,90             | 0,54                                 | 0,27                                   | 0,27             | 0,22                                 |
| 501–750  | 8,33             | 9,34                                   | 7,51             | 4,73                                 | 3,04                                   | 2,92             | 2,31                                 |
| 751–1000 | 53,75            | 61,29                                  | 56,76            | 38,64                                | 28,11                                  | 24,8             | 17,62                                |
| >1000    | 36,60            | 28,27                                  | 34,83            | 56,09                                | 68,58                                  | 72,01            | 79,85                                |

Počet dnů s efektivními teplotami pro rajče jedlé(GDD)



Obr. 14. Pozorované a modelované změny počtu dnů s efektivními teplotami pro rajče jedlé podle scénáře RCP8.5 pro ansámbl RCM modelů: střední odhad (MPI3), nejteplejší a zároveň vlhčí model (MOHC2) a nejchladnější a zároveň sušší model pro časové horizonty 2021–2040, resp. 2041–2060 v porovnání s referenčním obdobím 2001–2020 na území České republiky

V současném klimatu se na většině území České republiky, tj. asi na ploše 43 404,35 km<sup>2</sup>, což představuje asi 55 % území, pohybuje počet dnů s efektivními teplotami pro pěstování rajčat od 131 do 145 dnů. V období 2021–2040 se pravděpodobně zvýší plocha s tímto počtem dnů. Projekce nejteplejšího a zároveň vlhčího modelu predikuje mnohem větší plochu s GDD > 131 dní (53 545,18 km<sup>2</sup>, což představuje kolem 67,85 % území). V případě nejchladnějšího a zároveň suššího scénáře má oblast s GDD > 131 dní plochu cca 39 758,38 km<sup>2</sup>, což představuje cca 50,38 % území. Oproti tomu se zvětšuje plocha s počtem dní s GDD mezi 111 a 130, a to na 47,53 % podle nejchladnějšího a zároveň suššího scénáře. Nicméně dle středního odhadu ansámblu modelů pro budoucí období 2021–2040 nedojde k výrazným změnám.

V období 2041–2060 se výrazně navýší oblast s počtem dnů s efektivními teplotami pro pěstování rajčat, a to v rozmezí 131–145 dnů. V případě nejchladnějšího a zároveň suššího scénáře bude těmto podmínkám odpovídat 77,98 % plochy ČR, dle středního odhadu ansámblu modelů to bude 82,44 % plochy ČR a v případě nejteplejšího a zároveň vlhčího scénáře bude tato oblast zabírat 83,81 % plochy ČR.

Tabulka 22. Časové a prostorové změny počtu dnů s efektivními teplotami pro rajče jedlé (GDD, dnů) v současném (2001–2020) a očekávaném klimatu (2021–2040 a 2041–2060) na území ČR

| GDD, dnů | 2001–2020     |                                        | 2021–2040     |                                      | 2041–2060                              |               |                                      |
|----------|---------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------|
|          | současný stav | nejchladnější a zároveň sušší model, % | střední odhad | nejteplejší a zároveň vlhčí model, % | nejchladnější a zároveň sušší model, % | střední odhad | nejteplejší a zároveň vlhčí model, % |
| <90      | 0,0           | 0,17                                   | 0,14          | 0,04                                 | 0,01                                   | 0,04          | 0,04                                 |
| 91–110   | 2,0           | 1,92                                   | 2,1           | 0,3                                  | 0,17                                   | 0,29          | 0,24                                 |
| 111–130  | 43,0          | 47,53                                  | 41,82         | 31,82                                | 21,84                                  | 17,23         | 15,91                                |
| 131–145  | 55,0          | 50,38                                  | 55,94         | 67,85                                | 77,98                                  | 82,44         | 83,81                                |

### 6.2.2 Mapování rizika výskytu škodlivých jarních mrazů dle současného a budoucího klimatického scénáře

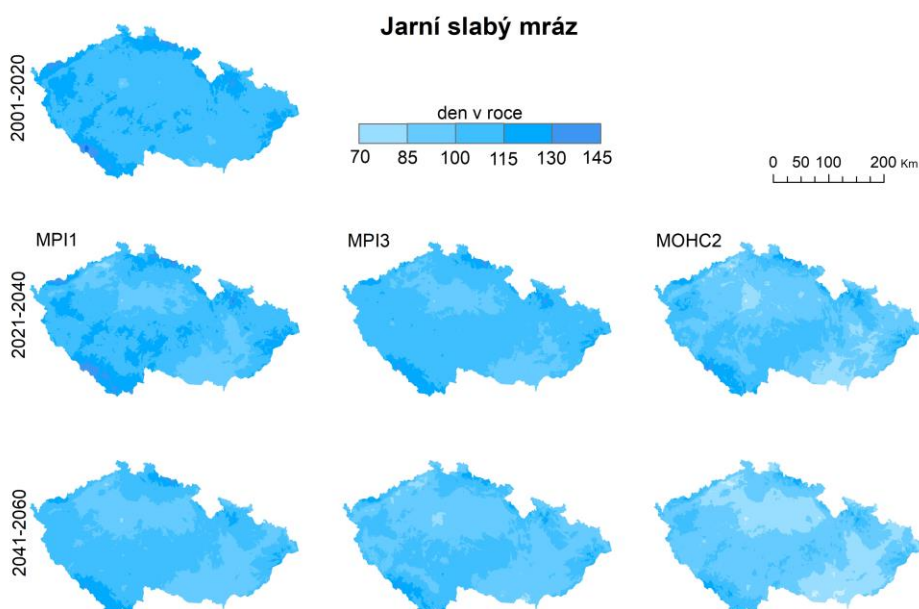
Riziko poškození produkce je závislé na kritické hranici minimální teploty vzduchu, která je pro jednotlivé druhy zelenin a jejich vývojové fáze různá, a na podmínkách agrotechniky. Proto byla pro hodnocení rizika využita denní minimální teplota vzduchu s různou intenzitou v období výsevu/výsadby zelenin. Pro potřeby pěstitelů nestačí pouze informace o datu výskytu mrazu, ale je nutné podrobněji znát také jeho prostorové rozložení v oblasti pěstování zeleniny na území ČR. Tyto informace pomohou k vytipování lokalit (farem) s různou mírou rizika poškození produkce mrazem a umožní přizpůsobit osevni postup tomuto riziku.

Pro odhadované potenciální změny ve výskytu pozdních jarních mrazů byly použity tři modelové projekce (Tab. 23 až Tab. 25). Prostorové rozložení data ukončení posledních jarních mrazů daných intenzit v současném a budoucím klimatu pro tři RCM (chladný, střední a teplý) ukazují Obr. 15a až 15c.

V současném klimatu data ukončení posledních jarních slabých mrazů byla v období do 30. dubna na ploše 9 359,55 km<sup>2</sup> (79,55 % území České republiky) (Tab. 23). V květnu byly slabé jarní mrazy zaznamenány na ploše 6 778,97 km<sup>2</sup>, což je asi 8,59 % území. Jarní mírné mrazy v období do 10. dubna zasáhly plochu 25 379,70 km<sup>2</sup> (32,16 % území). V květnu byly mrazy mírné intenzity zaznamenány pouze na ploše 1 215,32 km<sup>2</sup> (1,54 % území). Data ukončení posledních jarních silných mrazů byla v období do 25. dubna a jarní silné mrazy zasáhly území o rozloze 57 988,21 km<sup>2</sup>, což představuje asi 73,48 % území.

Tabulka 23. Data ukončení posledních jarních slabých mrazů v počtu dnů od 1. ledna v obdobích 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 na území ČR vyjádřené v relativních jednotkách (%)

| den v roce | 2001–2020     |                                        | 2021–2040     |                                      |                                        | 2041–2060     |                                      |
|------------|---------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------|
|            | současný stav | nejchladnější a zároveň sušší model, % | střední odhad | nejteplejší a zároveň vlhčí model, % | nejchladnější a zároveň sušší model, % | střední odhad | nejteplejší a zároveň vlhčí model, % |
| <105       | 11,86         | 49,78                                  | 35,17         | 77,78                                | 63,59                                  | 81,64         | 93,65                                |
| 106–120    | 79,55         | 46,58                                  | 56,69         | 19,76                                | 33,24                                  | 16,96         | 6,06                                 |
| 121–130    | 6,90          | 3,29                                   | 6,14          | 2,15                                 | 2,91                                   | 1,29          | 0,28                                 |
| >130       | 1,69          | 0,35                                   | 2,0           | 0,0                                  | 0,26                                   | 0,10          | 0,01                                 |

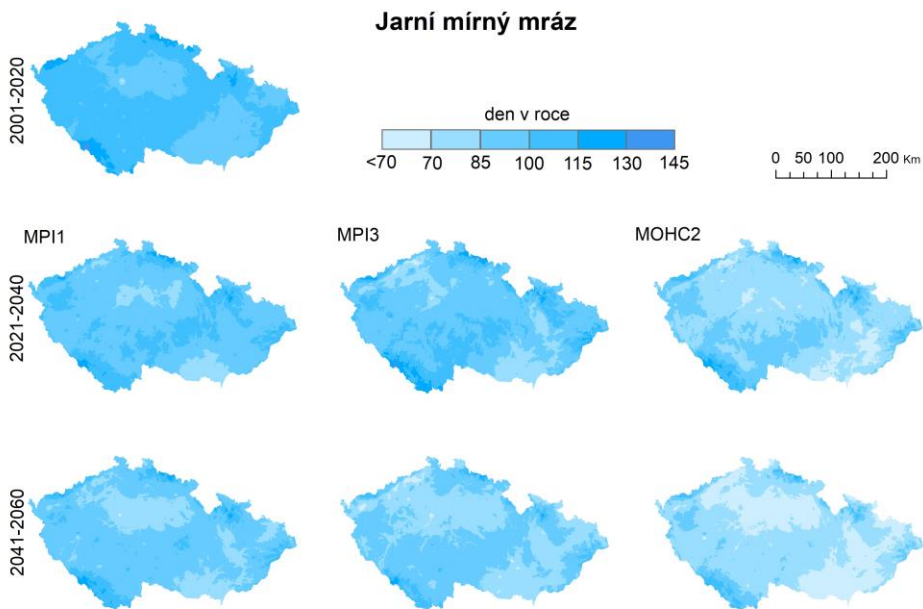


Obr. 15a. Data ukončení posledních jarních slabých mrazů v počtu dnů od 1. ledna v obdobích 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 na území ČR

Podle prostorového rozložení změn výskytu jarních slabých mrazů v blízkém budoucím klimatu (2021–2040) budou jarní mrazy o této intenzitě na základě středního modelu zaznamenány v květnu pouze na ploše představující přibližně 3,64 % území. Podle teplejšího modelu by se v květnu slabé mrazy vyskytly pravděpodobně pouze na 2,15 % území. U chladného modelu by se jarní mraz o této intenzitě vyskytl na 8,14 % území.

Tabulka 24. Data ukončení posledních jarních mírných mrazů v počtu dnů od 1. ledna v obdobích 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 na území ČR vyjádřené v relativních jednotkách (%)

| den v roce | 2001–2020     |                                        | 2021–2040     |                                      | 2041–2060                              |               |                                      |
|------------|---------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------|
|            | současný stav | nejchladnější a zároveň sušší model, % | střední odhad | nejteplejší a zároveň vlhčí model, % | nejchladnější a zároveň sušší model, % | střední odhad | nejteplejší a zároveň vlhčí model, % |
| <80        | 0,06          | 2,31                                   | 4,77          | 43,45                                | 4,11                                   | 19,42         | 61,46                                |
| 81–100     | 32,12         | 72,22                                  | 69,47         | 50,78                                | 85,49                                  | 76,26         | 19,26                                |
| 101–120    | 66,28         | 25,08                                  | 24,52         | 5,46                                 | 10,03                                  | 4,21          | 19,26                                |
| >120       | 1,54          | 0,39                                   | 1,24          | 0,31                                 | 0,37                                   | 0,11          | 0,01                                 |

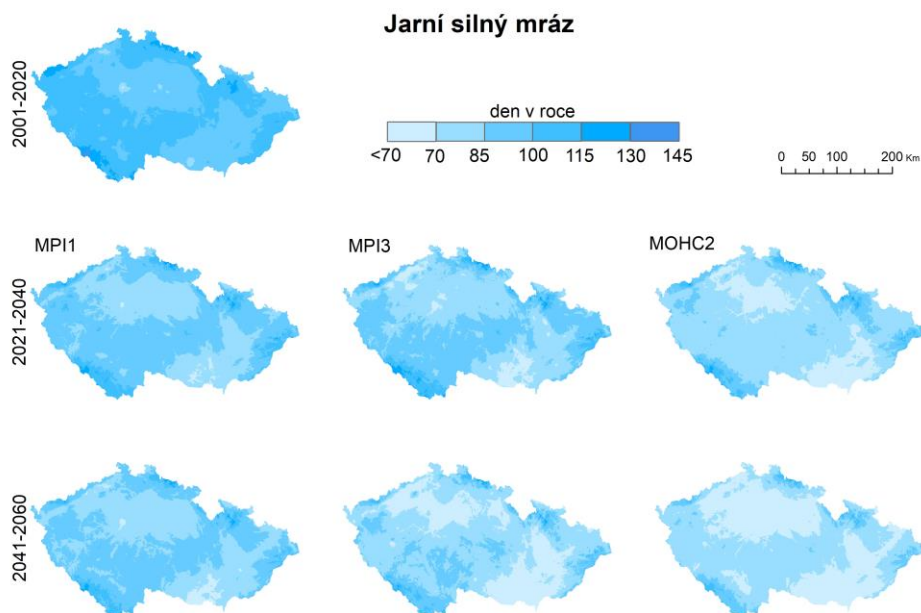


Obr. 15b. Data ukončení posledních jarních mírných mrazů v počtu dnů od 1. ledna v obdobích 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 na území ČR

V období 2041–2060 data ukončení posledních jarních slabých mrazů naznačují výrazný posun jejich výskytu do první poloviny dubna na většině území. V případě nejchladnějšího a zároveň suššího scénáře data ukončení posledních jarních slabých mrazů do první poloviny dubna nastanou na 63,59 % území, v případě středního odhadů to je 81,64 % území a v případě nejteplejšího a zároveň vlhčího scénáře půjde o 93,65 % území.

Tabulka 25. Data ukončení posledních jarních silných mrazů v počtu dnů od 1. ledna v obdobích 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 na území ČR vyjádřené v relativních jednotkách (%)

| den v roce | 2001–2020     |                                        | 2021–2040     |                                      |                                        | 2041–2060     |                                      |
|------------|---------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------|
|            | současný stav | nejchladnější a zároveň sušší model, % | střední odhad | nejteplejší a zároveň vlhčí model, % | nejchladnější a zároveň sušší model, % | střední odhad | nejteplejší a zároveň vlhčí model, % |
| <75        | 0,05          | 5,52                                   | 15,92         | 40,74                                | 8,95                                   | 42,64         | 63,22                                |
| 76–95      | 23,14         | 76,64                                  | 71,49         | 53,27                                | 81,11                                  | 52,60         | 34,73                                |
| 96–115     | 73,48         | 17,25                                  | 11,61         | 5,68                                 | 9,55                                   | 4,60          | 2,04                                 |
| >115       | 3,33          | 0,59                                   | 0,31          | 0,01                                 | 0,38                                   | 0,16          | 0,01                                 |



Obr. 15c. Data ukončení posledních jarních silných mrazů v počtu dnů od 1. ledna v obdobích 2001–2020, 2021–2040 a 2041–2060 na území ČR

**Z klimatických modelů je patrné:**

- Z pohledu produkce polních zelenin zůstávají pozdní jarní mrazy rizikovým faktorem, avšak míra rizika v čase klesá. Pravděpodobnost výskytu pozdních jarních mrazů klesá s jejich rostoucí intenzitou, z toho vyplývá, že

první polovina května je v Polabí z pohledu poškození polních zelenin silným mrazem málo riziková.

- Velká prostorová hustota vstupních dat a vysoké rozlišení mapových výstupů umožní farmářům zvolit optimální sortiment zelenin pro dosažení vysoké produkce. Dle vytvořených map plošného rozložení jarních mrazů byly oblastmi s nejčastějším výskytem pozdních jarních mrazů pahorkatiny a mrazové kotliny. Nejdřívejší ukončení posledních jarních mrazů měly lokality záhřevných písčitých půd podél středního toku Labe s vysokou koncentrací zelinářských podniků (Mochov, Přerov, Poděbrady, Kolínská kotlina, Českobrodská kotlina).

## KAPITOLA VII – POROVNÁVÁNÍ NAMĚŘENÝCH A SIMULOVANÝCH VÝNOSOVÝCH PARAMETRŮ NOVÝCH ODRŮD ŘEPKY V CSM-CROPGRO-CANOLA



Experimentální výsledky a simulace výnosových parametrů nových odrůd řepky v CSM-CROPGRO-Canola byly testovány na třech lokalitách s rozdílnými půdními a klimatickými podmínkami na území České republiky. Experimentální výsledky vycházejí z hodnocení růstových parametrů v normálních teplotních a vlhkostních podmínkách v letech 2020–2021 a v horkých a různorodých vlhkostních podmínkách v letech 2021–2022. Období setí a přezimování v letech 2020–2021 probíhalo v Chrastavě za silně teplých a suchých podmínek, zatímco na lokalitách Staňkov a Vysoká byly v tomto období normální teplotní a srážkové podmínky. Začátek kvetení proběhl v Chrastavě za chladných a vlhkých podmínek, avšak na lokalitě Staňkov bylo toto období chladné a suché. Ve Vysoké však panovaly extrémně chladné a srážkově normální podmínky. Fenologická fáze tvorby semen proběhla na lokalitách Chrastava a Staňkov v extrémně teplých a normálních srážkových podmínkách, ale na lokalitě Vysoká bylo teplo a silně vlhko. V období zralosti semen se Chrastava potýkala s teplými a silně vlhkými podmínkami, ve Staňkově byly normální teplotní a mírně vlhké povětrnostní podmínky a na lokalitě Vysoká panovaly v tomto období chladné a mírně vlhké povětrnostní podmínky. Na lokalitách Vysoká i Staňkov se v letech 2020–2021 vyskytovaly normální povětrnostní podmínky přibližně 70 % celkové vegetační doby od září do března. V Chrastavě však bylo zaznamenáno větší kolísání počasí od mírně chladných a vlhkých podmínek a silně teplé podmínky. Ve vegetačním období 2021–2022 převládalo na všech třech pokusných lokalitách mírné až silné teplo po dobu přibližně 50 % celkové vegetační doby. Srážkové poměry na lokalitě Chrastava však



vykazovaly 60 % extrémních událostí, kdy ve fázi setí, kvetení a zralosti převládaly silně suché podmínky. Na lokalitách Staňkov i Vysoká převládaly v období setí a vzcházení silně suché podmínky a v době zralosti mírně vlhké podmínky.

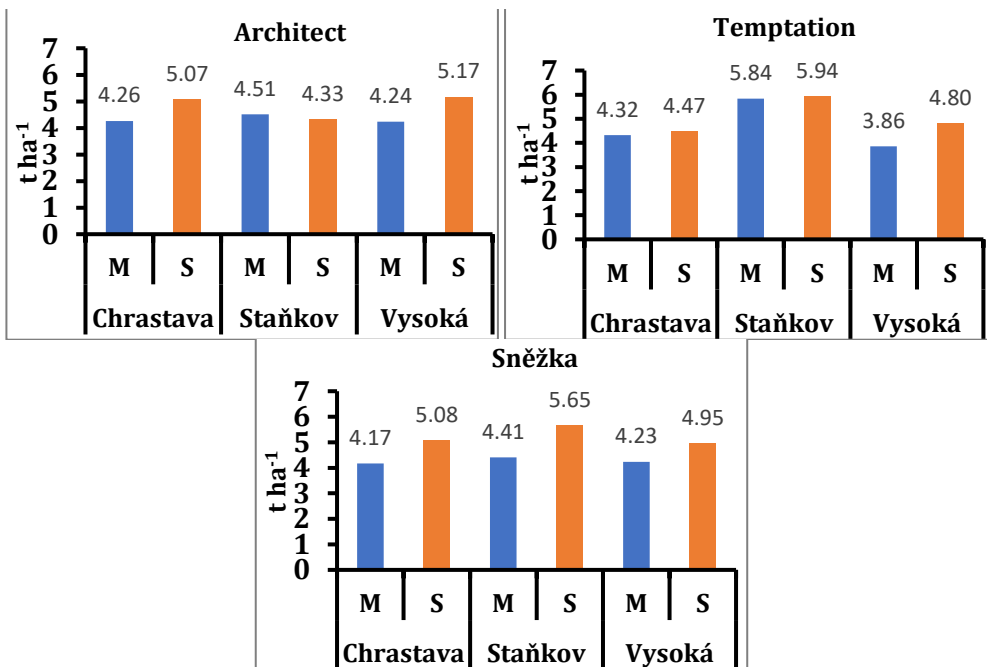
## 7.1 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH A SIMULOVANÝCH FENOLOGICKÝCH FÁZÍ

Simulované hodnoty fenologických fází plodin byly vypočteny na základě souborů údajů o počasí, půdě, způsobu obhospodařování plodin a genetických koeficientů specifických pro jednotlivé odrůdy na každé experimentální lokalitě. V letech 2020–2021 vykazovaly sledované fenologické fáze (první šešule, semeno, zralost) optimální délku trvání, zatímco v letech 2021–2022 extrémní povětrnostní jevy zkracovaly fenologické fáze. Z výsledků vyplývá, že všechny naměřené hodnoty jednotlivých fenologických fází porostu vykazovaly vyšší hodnoty v chladnější oblasti (Vysoká) a nižší hodnoty v teplejší oblasti (Chrastava). V případě první fáze tvorby šešulí byly simulované hodnoty za normálních povětrnostních podmínek v letech 2020–2021 modelem nadhodnoceny o 15,13 až 20,96 %. Za horkého a suchého počasí v letech 2021–2022 však model podhodnotil své odhady o 11,74 až 22,69 %. Simulované dny tvorby prvních semen byly v obou obdobích podhodnoceny o 9,92 až 16,60 %. Kromě toho model simuloval podhodnocené hodnoty fyziologické zralosti a sklizňové zralosti od 6,95 do 22,14 %, resp. od 7,54 do 20,80 % na všech lokalitách v obou obdobích. Mírná odchylka v simulovaných a experimentálních hodnotách může být způsobena neschopností modelu plodin zachytit kontrolované experimentální podmínky na experimentálních stanicích ÚKZÚZ. Výkonnost modelu může být ovlivněna v souvislosti se skutečnými technickými podmínkami hospodaření.

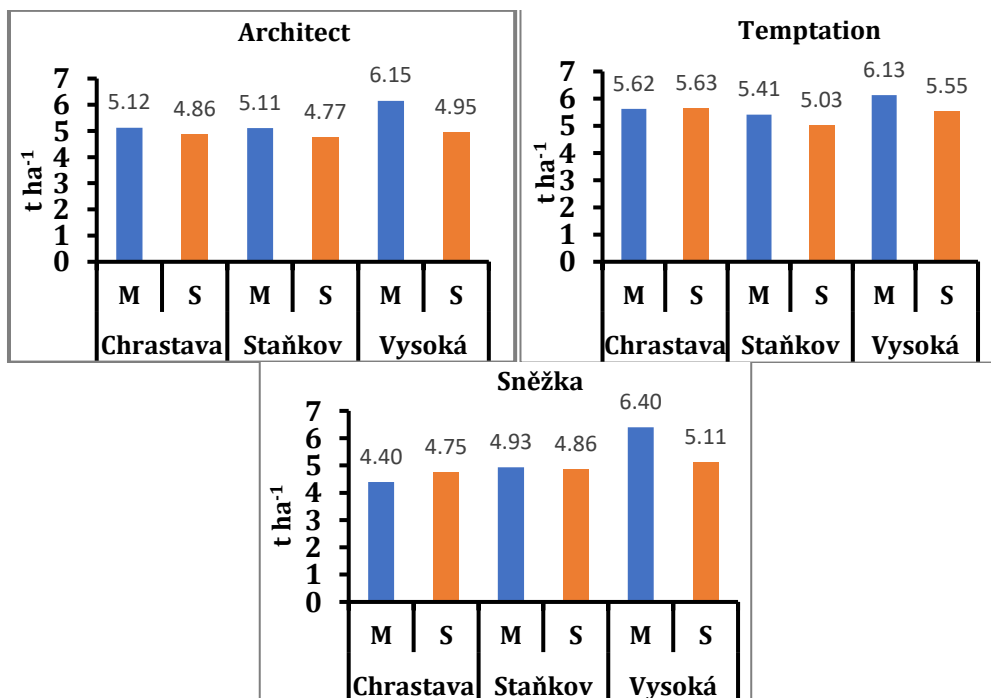
## 7.2 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH A SIMULOVANÝCH VÝNOSOVÝCH PARAMETRŮ

Za normálních meteorologických podmínek byly naměřené výnosy u odrůdy Architect z lokalit Chrastava, Staňkov a Vysoká 5,12 t ha<sup>-1</sup>, 5,11 t ha<sup>-1</sup> a 6,15 t ha<sup>-1</sup>, zatímco simulované výnosy byly 4,86 t ha<sup>-1</sup>, 4,77 t ha<sup>-1</sup> a 4,94 t ha<sup>-1</sup> (Obr. 16). Při výskytu sucha byly naměřené výnosy z lokalit Chrastava, Staňkov a Vysoká 4,26 t ha<sup>-1</sup>, 4,51 t ha<sup>-1</sup> a 4,24 t ha<sup>-1</sup>, zatímco simulované výnosy byly 5,07 t ha<sup>-1</sup>, 4,33 t ha<sup>-1</sup> a 5,17 t ha<sup>-1</sup>. Za normálních povětrnostních podmínek se naměřené výnosy odrůdy Temptation pohybovaly v rozmezí 5,41 t ha<sup>-1</sup> až 6,13 t ha<sup>-1</sup> na všech pokusných lokalitách, zatímco simulované výnosy se pohybovaly v rozmezí 5,03 t ha<sup>-1</sup> až 5,63 t ha<sup>-1</sup> na všech pokusných lokalitách. V případě suchých podmínek se naměřené výnosy odrůdy Temptation pohybovaly od 3,85 t ha<sup>-1</sup> do 5,84 t ha<sup>-1</sup>, zatímco simulované výnosy se pohybovaly od 4,47 t ha<sup>-1</sup> do 5,94 t ha<sup>-1</sup> na všech pokusných lokalitách (Obr. 16).





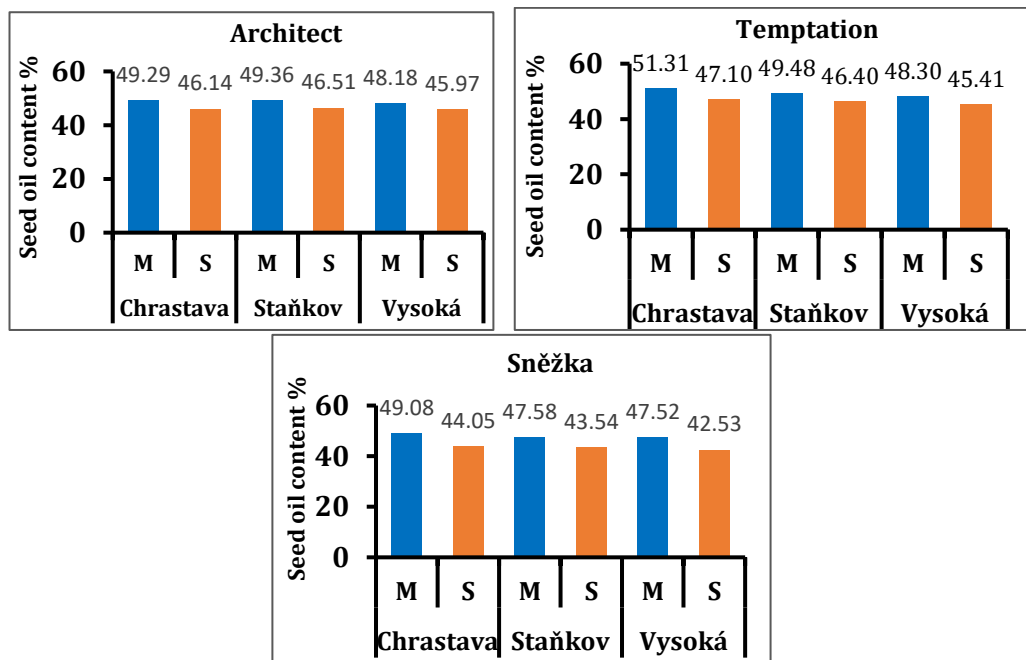
Obr. 16. Naměřený (M) a simulovaný (S) výnos odrůd řepky ozimé pro vegetační období 2020–2021. Výnos se vyjadřuje jako množství suché biomasy na hektar ( $t\ ha^{-1}$ ).



Obr. 17. Naměřený (M) a simulovaný (S) výnos odrůd řepky ozimé pro vegetační období 2021–2022. Výnos se vyjadřuje jako množství suché biomasy na hektar ( $t\ ha^{-1}$ ).

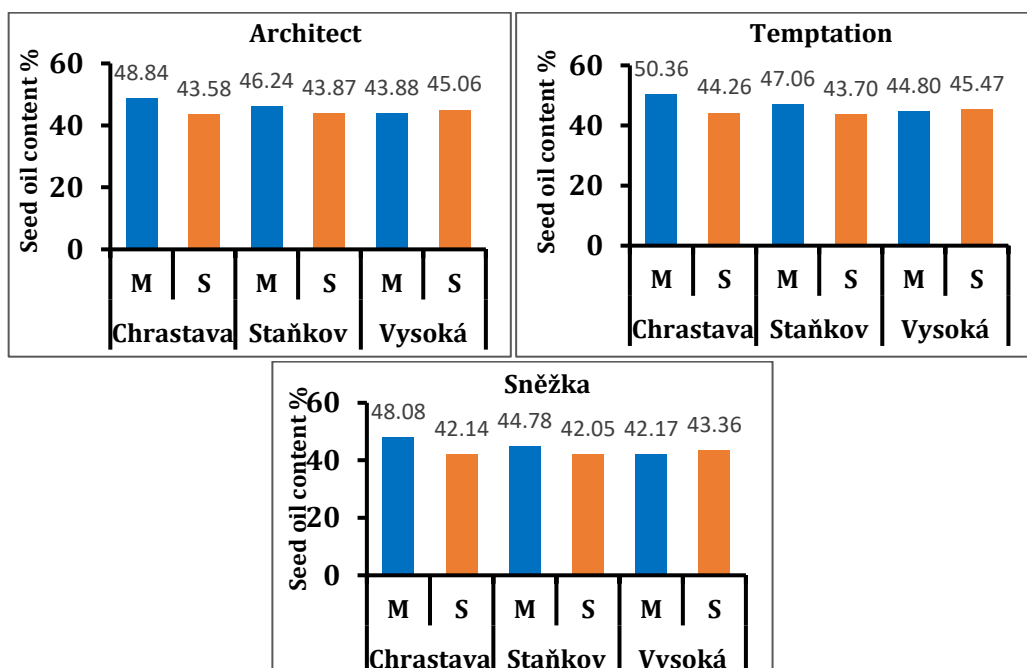
Za normálních povětrnostních podmínek byly naměřené výnosy u odrůdy Sněžka 4,40 t ha<sup>-1</sup>, 4,93 t ha<sup>-1</sup> a 6,40 t ha<sup>-1</sup>, zatímco simulované výnosy byly 4,75 t ha<sup>-1</sup>, 4,86 t ha<sup>-1</sup> a 5,10 t ha<sup>-1</sup> (Obr. 19). V suchých podmínkách byly naměřené výnosy 4,17 t ha<sup>-1</sup>, 4,41 t ha<sup>-1</sup> a 4,23 t ha<sup>-1</sup>, zatímco simulované výnosy byly 5,08 t ha<sup>-1</sup>, 5,65 t ha<sup>-1</sup> a 4,95 t ha<sup>-1</sup> (Obr. 17). Jak naměřené, tak simulované výnosy byly nižší za sucha ve srovnání s normálním počasím. V obou letech však model podhodnotil simulované výnosy oproti příslušným naměřeným výnosům.

Za normálních povětrnostních podmínek byl naměřený obsah oleje v semenech odrůdy Architect z lokalit Chrastava, Staňkov a Vysoká 49,29 %, 49,36 % a 48,18 %, zatímco simulovaný obsah oleje v semenech byl 46,14 %, 46,51 % a 45,97 %. Při výskytu sucha se naměřený obsah oleje v semenech pohyboval v rozmezí 43,88 % až 48,84 % na všech pokusných lokalitách, zatímco simulovaný obsah oleje v semenech se pohyboval v rozmezí 43,58 % až 45,06 % na všech pokusných lokalitách. V případě odrůdy Temptation se naměřený obsah oleje v semenech pohyboval v rozmezí 48,30 % až 51,31 %, zatímco simulovaný obsah oleje v semenech se pohyboval v rozmezí 45,41 % až 47,10 % na všech pokusných lokalitách v normálních podmínkách.



Obr. 18. Naměřený (M) a simulovaný (S) obsah oleje v semenech odrůd řepky ozimé pro vegetační období 2020–2021

Při výskytu sucha byl naměřený obsah oleje v semenech z lokalit Chrastava, Staňkov a Vysoká 50,36 %, 47,06 % a 44,80 %, zatímco simulovaný obsah oleje v semenech byl 44,26 %, 43,70 % a 45,47 %. Za normálních povětrnostních podmínek byly naměřené obsahy oleje v semenech odrůdy Sněžka v Chrastavě 49,08 %, ve Staňkově 47,58 % a ve Vysoké 47,52 %, zatímco simulované obsahy oleje v semenech byly 44,05 %, 43,54 % a 42,53 % (Obr. 18). V případě výskytu sucha byl naměřený obsah oleje v semenech 48,08 %, 44,78 % a 42,17 %, zatímco simulovaný obsah oleje v semenech byl 42,14 %, 42,06 % a 43,36 % (Obr. 19). Naměřené hodnoty u všech odrůd však byly relativně vyšší na lokalitě Vysoká ve srovnání s lokalitami Chrastava a Staňkov.



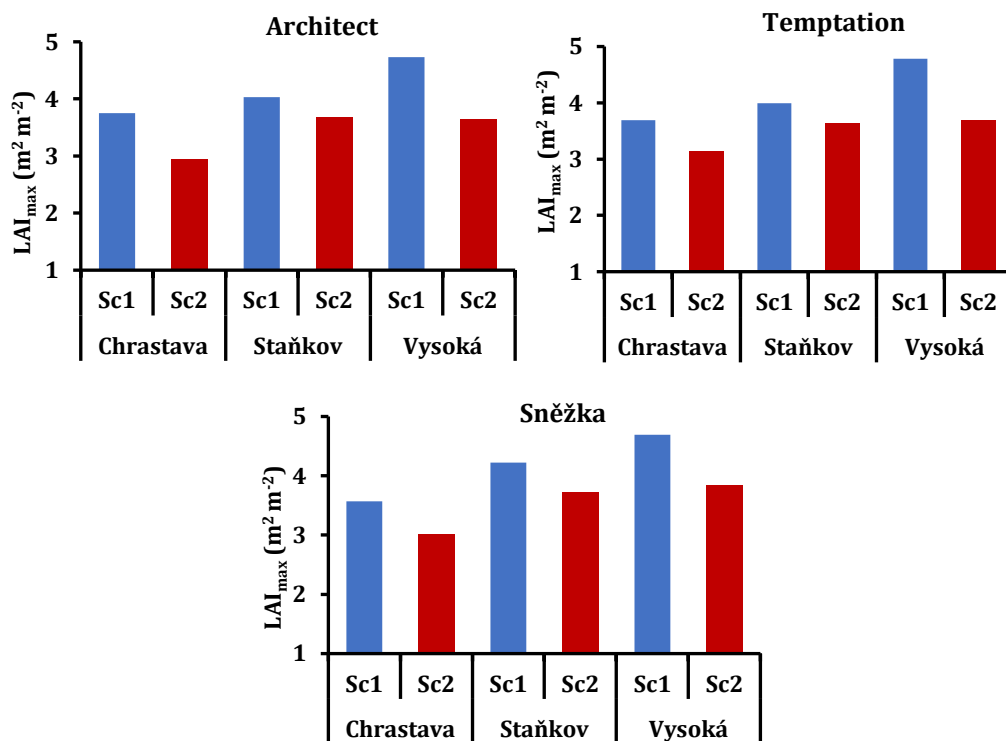
Obr. 19. Naměřený (M) a simulovaný (S) obsah oleje v semenech odrůd řepky ozimé pro vegetační období 2021–2022

### 7.3 SIMULOVANÁ VÝKONNOST VÝNOSOVÝCH PARAMETRŮ PODLE SOUČASNÉHO A BUDOUCÍHO KLIMATICKÉHO SCÉNÁŘE

Model DSSAT CROPGRO má integrovaný Environmentální modul, který lze upravit podle předpokládaných klimatických změn. Lze nastavit např. teplotu vzduchu, úhrn srážek a koncentraci CO<sub>2</sub> (Potopová *et al.*, 2023b). Studie zkoumala maximální výnosové parametry u tří odrůd řepky ozimé na třech experimentálních lokalitách podle klimatických scénářů (Sc1) a (Sc2). Sc1 představuje současné klimatické podmínky v době provádění polních pokusů. Pro Sc2 je Environmentální modul upraven dle emisního scénáře RCP8.5 (Reprezentativní směry vývoje koncentrací)

v období 2021–2040. V rámci scénáře Sc2 se předpokládá zvýšení průměrné teploty o +2 °C oproti současnému stavu a zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> na 936 ppm, což bude dvojnásobek oproti současné koncentraci CO<sub>2</sub> (421 ppm).

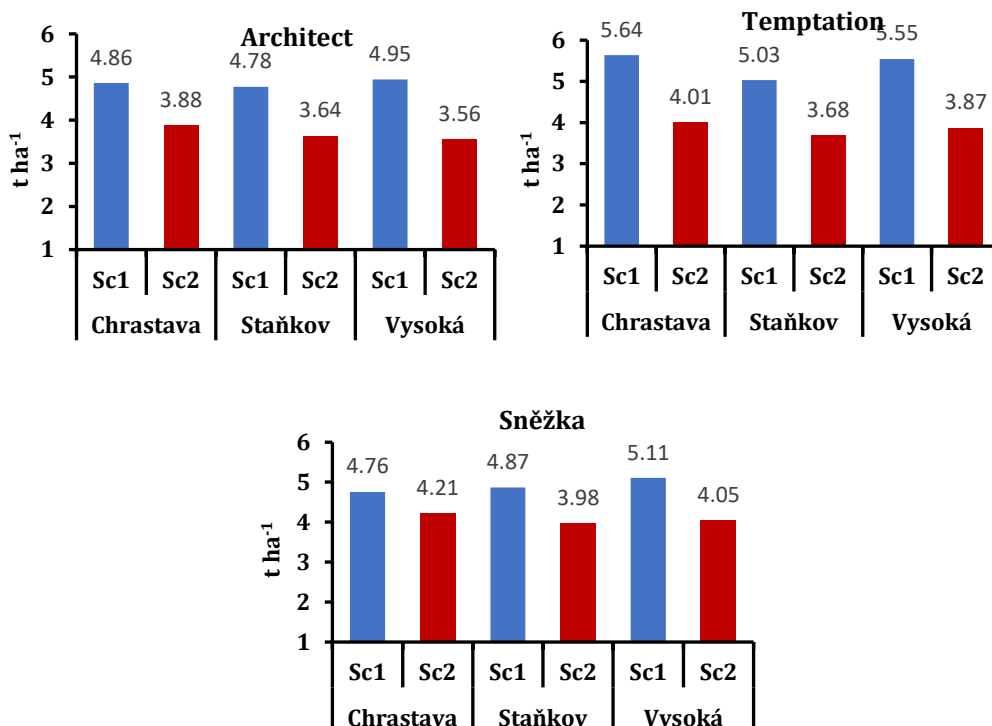
Model simuloval podle scénáře Sc1 nejvyšší maximální index listové plochy (LAI<sub>max</sub>) pro odrůdu Temptation na všech třech experimentálních lokalitách, zatímco pro odrůdu Architect byl simulován nejnižší LAI<sub>max</sub>. Podle scénáře Sc2 měla odrůda Sněžka nejvyšší LAI<sub>max</sub> a odrůda Architect měla nejnižší LAI<sub>max</sub>. Na lokalitě Chrastava byl zjištěn nejnižší LAI<sub>max</sub>, zatímco na lokalitě Vysoká byl simulován nejvyšší LAI<sub>max</sub> podle scénáře Sc1 i Sc2 (Obr. 20). Studie ukázala, že odrůdy Temptation (Sc1) a Sněžka (Sc2) vykazovaly nejvyšší LAI<sub>max</sub>, zatímco odrůda Architect vykazovala nejnižší hodnotu LAI<sub>max</sub> v obou scénářích. Tyto výsledky by mohly být užitečné pro optimalizaci produktivity plodin a strategie hospodaření.



Obr. 20. Simulovaný maximální index listové plochy (LAI<sub>max</sub>) za současných klimatických podmínek při provádění polních pokusů (Sc1) a za předpokládaného klimatického scénáře (Sc2) pro RCP8.5 v polovině 21. století

V podmínkách scénáře Sc1 odrůda Temptation dosáhla nejvyšších simulovaných hodnot výnosu semene v rozmezí 5,03 až 5,64 t ha<sup>-1</sup> napříč všemi třemi

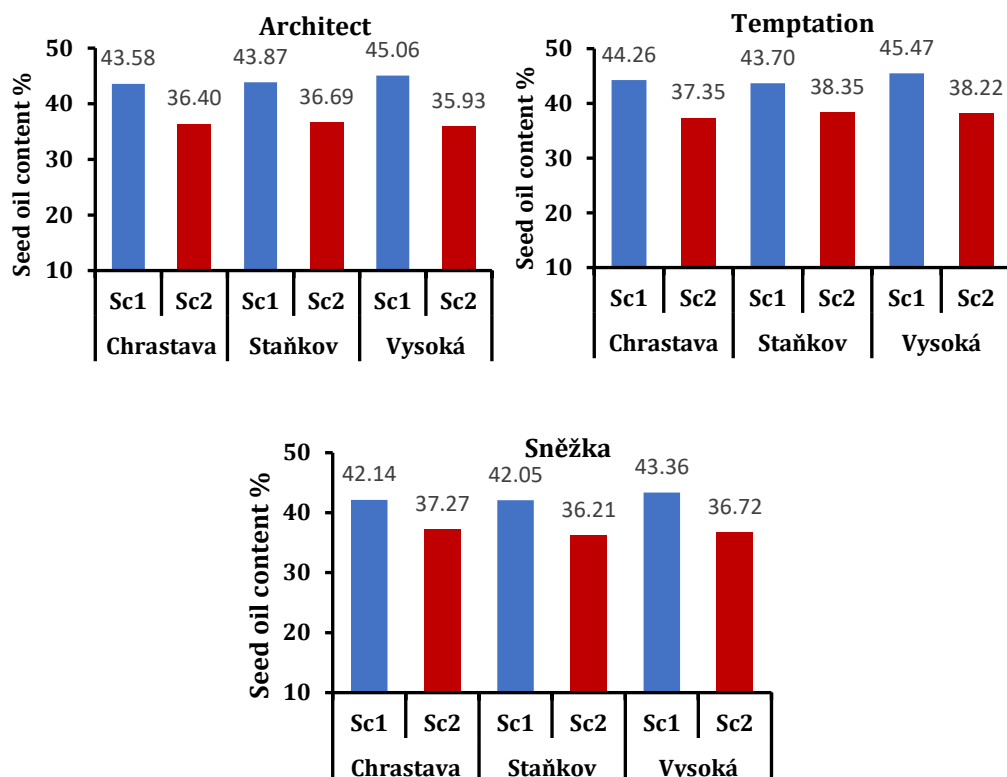
experimentálními lokalitami (Obr. 21). Oproti tomu nejnižší výnosy byly modelovány u odrůdy Architect. Dle scénáře s nárůstem teploty vzduchu o 2 °C a dvojnásobkem koncentrace CO<sub>2</sub> oproti současné úrovni však nejvyšší simulované výnosy ze všech tří odrůd vykázala odrůda Sněžka, a to v rozmezí 3,98 až 4,21 t ha<sup>-1</sup>. Odrůda Architect vykázala nejhorší simulované výnosy semene podle scénáře Sc2 na lokalitě Chrastava (3,88 t ha<sup>-1</sup>). Tato zjištění zdůraznila význam výběru vhodné odrůdy řepky ozimé v závislosti na měnících se klimatických podmínkách pro dosažení maximálních výnosů.



Obr. 21. Simulované výnosy řepky ozimé podle současného (Sc1) a budoucího (Sc2) klimatického scénáře

V podmínkách scénáře Sc1 odrůda Temptation vykazovala nejvyšší simulovaný obsah oleje v semenech v rozmezí 37,35 až 45,47 % na všech experimentálních lokalitách. V podmínkách scénáře Sc2 měly odrůdy Sněžka a Architect na různých experimentálních lokalitách střední obsah oleje v semenech. Z výsledků také vyplynulo, že nejvyšší obsah oleje v semenech byl zjištěn na lokalitě Vysoká, zatímco nejnižší obsah oleje v semenech byl zjištěn na lokalitě Chrastava. Tato zjištění naznačují, že odrůda Temptation by mohla být vhodnou odrůdou s potenciálem pro vyšší výnos oleje ze semen (Obr. 22). Výsledky této studie tak

poskytly cenné informace pro zemědělce a šlechtitele rostlin z hlediska výběru nejlepší odrůdy řepky ozimé k získání vyšších výnosů oleje.



Obr. 22. Simulovaný obsah oleje v semenech řepky ozimé podle současného (Sc1) a budoucího (Sc2) klimatického scénáře

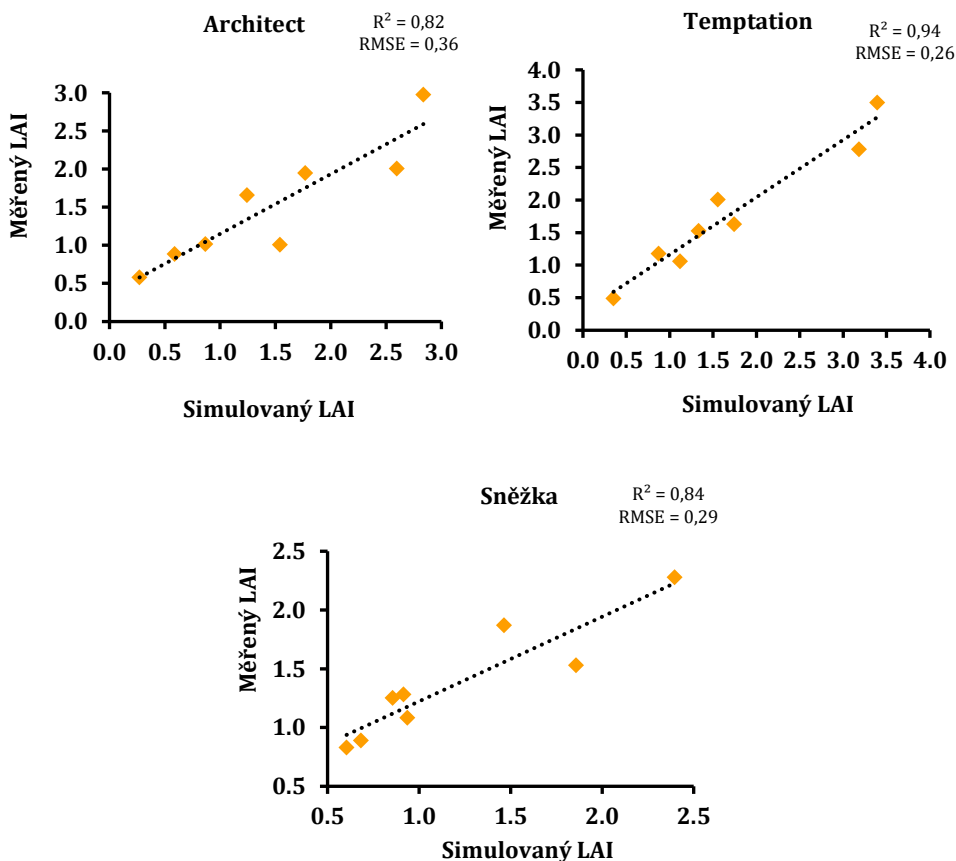
## 7.4 HODNOCENÍ VÝKONNOSTI MODELU DSSAT-CROPGRO-CANOLA NA ZÁKLADĚ NAMĚŘENÝCH A SIMULOVANÝCH VÝNOSOVÝCH PARAMETRŮ

Výkonnost modelu byla vyhodnocena porovnáním simulovaných a naměřených hodnot LAI, výnosu a obsahu oleje v semenech jednotlivých odrůd.

### 7.4.1 Shoda mezi simulovaným a naměřeným LAI

Porovnání simulovaného LAI s naměřeným LAI všech tří odrůd řepky ozimé bylo provedeno na základě souboru experimentálních dat z vegetační sezóny 2020–2021 (Obr. 23). Dobrá shoda mezi simulovaným a naměřeným LAI a statistikou výkonnosti modelu naznačuje, že LAI byl při kalibraci modelu CROPGRO-Canola vypočítán přesně. V případě odrůdy Architect ukázala statistika výkonnosti během

kalibrace modelu spolehlivost dat s hodnotami  $R^2 = 0,82$  a  $RMSE = 0,36$ . V případě odrůdy Temptation byla kalibrace provedena se slušnou výkonností modelu s hodnotou  $R^2 = 0,94$  a hodnotou  $RMSE = 0,26$ . Kalibrace pro odrůdu Sněžka ukázala významnou shodu mezi simulovaným a naměřeným LAI s hodnotami  $R^2 = 0,84$  a  $RMSE = 0,29$ . V případě odrůdy Sněžka se kalibrace ukázala jako velmi dobrá. V případě odrůd Architect a Sněžka model podhodnotil hodnoty LAI pouze na konci vegetační fáze (v období zrání semen).



Obr. 23. Porovnání simulovaného indexu listové plochy (LAI) s naměřenými hodnotami u odrůd řepky ozimé (Architect, Temptation a Sněžka) v pokusném období 2020–2021

#### 7.4.2 Shoda mezi simulovaným a naměřeným výnosem semen

U odrůdy Architect model za normálních povětrnostních podmínek podhodnotil výnosy semen ve srovnání se skutečně naměřenými výnosy ze všech tří lokalit. Shoda výkonnosti mezi naměřenými a simulovanými výnosy z lokality Chrastava ( $RMSE = 0,26 \text{ t ha}^{-1}$ ) za normálních povětrnostních podmínek byla použita ke kalibraci modelu pro odrůdu Architect. Za suchého počasí model nadhodnotil výnosy z lokalit Chrastava a Vysoká, zatímco výnosy na lokalitě Staňkov



podhodnotil. U odrůdy Temptation za normálních povětrnostních podmínek model vykázal dobrou shodu výkonnosti ( $RMSE = 0,04 \text{ t ha}^{-1}$ ) mezi naměřenými a simulovanými výnosy na lokalitě Chrastava. Tento výsledek výkonnosti byl použit ke kalibraci modelu pro tuto odrůdu. Za suchého počasí však model nadhodnotil simulované výnosy této odrůdy na všech třech lokalitách. U odrůdy Sněžka model nadhodnotil výnosy ve srovnání s naměřenými výnosy na lokalitě Chrastava za normálních povětrnostních podmínek, avšak na lokalitě Staňkov model vykázal slušnou shodu výkonnosti mezi simulovanými a naměřenými výnosy ( $RMSE = 0,07 \text{ t ha}^{-1}$ ), což bylo použito ke kalibraci modelu pro tuto odrůdu. Za suchého počasí model nadhodnotil simulované výnosy této odrůdy na všech třech lokalitách. Celkově byla výkonnost modelu pro různé odrůdy a lokality proměnlivá a model měl tendenci nadhodnocovat výnosy za suchých povětrnostních podmínek oproti normálním povětrnostním podmínkám.

#### 7.4.3 Shoda mezi simulovaným a naměřeným obsahem oleje v semenech

Model DSSAT-CROPGRO-Canola konzistentně podhodnocoval obsah oleje v semenech všech odrůd ze všech lokalit za normálního i suchého počasí (Tab. 26). U odrůdy Architect model podhodnotil simulovaný obsah oleje v semeni na lokalitách Chrastava, Staňkov a Vysoká za normálních povětrnostních podmínek o 5,26 %, 2,37 % a 1,18 %. Nicméně za suchého počasí model podhodnotil obsah oleje v semenech na všech lokalitách přibližně o 3 %. Odrůda Temptation na lokalitě Vysoká vykazovala při normálních povětrnostních podmínkách dobrou shodu výkonnosti mezi naměřeným a simulovaným obsahem oleje v semenech (rozdíl 0,67 %). Naproti tomu na lokalitách Staňkov a Chrastava byl simulovaný obsah oleje v semenech modelem podhodnocen v rozmezí 3,36 % až 6,10 %. Při suchém počasí model podhodnotil obsah oleje v semenech na lokalitách Chrastava, Staňkov a Vysoká o 4,21 %, 3,08 % a 2,89 %. U odrůdy Sněžka byla nejlepší shoda výkonu modelu vyhodnocena na lokalitě Chrastava za normálních povětrnostních podmínek, kde model podhodnotil simulovaný obsah oleje v semenech o 1,19 % oproti naměřeným hodnotám. Na lokalitách Staňkov a Chrastava model vykazoval mírně vyšší odchylky, a to o 2,73 % a 5,94 %. V podmínkách suchého počasí však model provedl konstantní podhodnocení simulovaných obsahů oleje v semenech na všech třech experimentálních lokalitách. Závěrem lze říci, že výkon modelu DSSAT-CROPGRO-Canola vykazoval lepší přesnost při simulaci obsahu oleje v semenech za normálních povětrnostních podmínek.



Tabulka 26. Vyhodnocení simulace obsahu oleje v semenech řepky ozimé modelem DSSAT-CROPGRO-Canola oproti naměřeným výnosovým parametrům

| Lokalita  | Odrůda     | rok  | Výnos                      | Obsah oleje v semenech |
|-----------|------------|------|----------------------------|------------------------|
|           |            |      | RMSE (t ha <sup>-1</sup> ) | RMSE (%)               |
| Chrastava | Architect  | 2021 | +0,80                      | -3,15                  |
|           |            | 2022 | -0,26                      | -5,26                  |
|           | Temptation | 2021 | +0,15                      | -4,21                  |
|           |            | 2022 | +0,04                      | -6,10                  |
|           | Sněžka     | 2021 | +0,91                      | -5,03                  |
|           |            | 2022 | +0,35                      | -5,94                  |
| Staňkov   | Architect  | 2021 | -0,18                      | -2,85                  |
|           |            | 2022 | -0,34                      | -2,37                  |
|           | Temptation | 2021 | +0,10                      | -3,08                  |
|           |            | 2022 | -0,38                      | -3,36                  |
|           | Sněžka     | 2021 | +1,22                      | -4,04                  |
|           |            | 2022 | -0,07                      | -2,73                  |
| Vysoká    | Architect  | 2021 | +0,93                      | -2,21                  |
|           |            | 2022 | -1,20                      | -1,18                  |
|           | Temptation | 2021 | +0,95                      | -2,89                  |
|           |            | 2022 | -0,59                      | -0,67                  |
|           | Sněžka     | 2021 | +0,72                      | -4,99                  |
|           |            | 2022 | -1,29                      | -1,19                  |

## KAPITOLA VIII. DISKUSE



Výstupem této metodiky je soubor výsledků polních pokusů a modelování růstu, vývoje a výnosových parametrů teplomilných zelenin pro budoucí vložení mapových podkladů na nového portálu <https://agropocasi.cz/plodiny/zeleniny/>. Na tomto portálu je možné získat informace o předpovědi počasí pro vybraný katastr, o vlivu počasí na plodiny a o prahových hodnotách pro vývoj jednotlivých plodin. Metodika je provedena také na základě volby a výpočtů agroklimatických indexů při zohlednění stanovištních podmínek, plodinových charakteristik, použitých technologií a vlivu počasí. Kromě toho se tato metodika zaměřuje na modelování vlivu sdružených povětrnostních jevů na vývoj růstových charakteristik řepky olejné. Na základě kvalitních málo-parcelních odrůdových pokusů na olejninách vedených ve spolupráci s Národním odrůdovým úřadem (ÚKZÚZ) bylo možné uskutečnit kalibraci modelu DSSAT-CROPGRO-Canola. Kromě toho experimentální činnost probíhala ve spolupráci s podniky a farmáři, kteří se věnují pěstování zeleniny v oblasti Polabí, což je teplá klimatická oblast České republiky, ve které se do budoucna předpokládají potíže s dostupností půdní vody. Pro pokus byly vybrány teplomilné zeleniny, jako jsou rajčata a papriky, neboť se do budoucna vlivem klimatické změny a zvyšování teploty vzduchu předpokládají ideální podmínky pro pěstování právě těchto zelenin, a to za podmínky dodržení minimálních závlah (Potopová *et al.*, 2022, 2023). Nutno ale podotknout, že ze všech zemědělských plodin je zelenina nejnáročnější na manuální práci a čas strávený jejím pěstováním (Příloha 1–4). Jelikož ČZU dlouhodobě spolupracuje se zelinářskou farmou Hanka Mochov, byli do tohoto pokusu také zapojeni její pracovníci. Pokus probíhal tak, že agronomové nejprve předpěstovali sazenice výše zmíněných zelenin, a poté byly tyto sazenice vysazeny na volné pole s tím, že byly rozděleny do skupin, na které byly použity různé agrotechnické postupy pěstování (různá dávka závlah, použití fólie na zakrytí okolní půdy apod.). Během vegetačního období byla průběžně monitorována fenologie (tzn. fáze růstu rostlin) plodin a bylo určeno, v jaké fázi plodiny potřebují nejvíce vody. Dále probíhal sběr biomasy, vyhodnocení listové plochy, hmotnosti dozrálých plodů a dalších parametrů. Byl proveden také chemický a hydrologický rozbor půdy. Nasbíraná data posloužila pro validaci růstových modelů zelenin.

Přestože se na experimentálních lokalitách střídala studená a vlhká období s vlnami horka a sucha, byly u odrůd rajčete jedlého TORNÁDO F1 a papriky seté Superamy F1 zaznamenány nadprůměrné výnosy v porovnání s průměrným výnosem ve středních Čechách.

Cammarano *et al.* (2022) také aplikoval na simulaci polních rajčat určených ke zpracování model CROPGRO-Tomato, avšak ve třech hlavních globálních producentských zemích (USA, Itálie a Čína). Jejich model byl kalibrován pro genotypy rajčat v různých prostředích s využitím publikované vědecké literatury a byl ověřen na regionální úrovni s využitím údajů světového průmyslu rajčat určených ke zpracování pro období 2005–2019. Výsledky simulace ukázaly, že produkce rajčat určených ke zpracování ve třech hlavních globálních produkčních oblastech se do roku 2050 podle souboru předpokládaných klimatických scénářů sníží, s menšími změnami pro SSP 1–2,6 (+0,2 až -9,9 %) a závažnějšími ztrátami podle SSP 3–7,0 (+8,6 až -8,6 %) a SSP 5–8,5 (+6,5 až -15,2 %). Množství vody potřebné k zavlažování se v závislosti na regionu zvýší o 5 až 50 %. V Číně se předpokládá nižší spotřeba vody ve srovnání s Kalifornií a Itálií, což naznačuje, že Čína má potenciál stát se do roku 2050 jedním z důležitých regionů a hlavních center pro produkci rajčat určených ke zpracování. Předpokládaná spotřeba vody pro zavlažování může v budoucnu zatížit vodní zdroje, což je v lokalitách, jako je jižní Kalifornie a Itálie, kritické. To naznačuje, že tyto lokality by nemusely být schopny udržet současnou úroveň produkce rajčat určených ke zpracování. Na druhou stranu chladnější produkční oblasti, jako je Čína a severní části Kalifornie, by mohly mít konkurenční výhodu, neboť by byly méně ovlivněny předpokládaným zvýšením teploty.

Zranitelnost produkce vybraných teplomilných zelenin z pohledu pokrytí jejich vláhové potřeby v podmínkách klimatické změny je studována v práci Potopová *et al.* (2022). Projekce možného vývoje vláhové potřeby zelenin s nejvyššími nároky na vodu ukazuje výraznější nárůst požadavků na zavlažování do roku 2030 ve všech pěstitelských oblastech ČR. Souhrnně lze říci, že klíčové druhy polní zeleniny byly v hlavních produkčních fázích pěstování ovlivněny různou četností nepříznivých povětrnostních jevů. To naznačuje, že adaptační strategie by měly být zvažovány regionálně pro každý druh a každou odrůdu jednotlivých plodin (Trnka *et al.*, 2023).

Potenciálními adaptačními nástroji na nepříznivé účinky změny klimatu se stávají systémy roubování zeleniny, aeroponie a hydroponie. V Evropě se v komerční produkci hojně využívá roubovaná polní zelenina. Štěpovaná rajčata a další štěpovaná zelenina mají tendenci produkovat vyšší výnosy vysoce kvalitních plodů, díky čemuž se pěstování na poli finančně vyplatí. Ve Španělsku se ročně využívá ~ 50 až 70 milionů roubovanců, což představuje přibližně 40 % produkce rajčat v zemi (Grieneisen *et al.*, 2018). Hlavní výhodou moderního hydroponického systému je úspora vody a zvýšení produktivity na jednotku plochy.



## KAPITOLA IX. ZÁVĚR

Certifikovaná metodika předkládá zhodnocení dopadu předpokládaného vývoje klimatu na produkci plodové zeleniny s využitím klimatických a růstových modelů včetně experimentální činnosti jako nástrojů pro predikci vývoje výrobního procesu teplomilných zelenin. Výsledky budou implementovány do praxe v rámci malých a středních podniků v Polabí. Implementace získaných výsledků zvýší kvalitu know-how aplikovaného výzkumu v zelinářství, čímž dojde ke zvýšení synergie pěstitelů a vědeckých pracovníků. V rámci této etapy probíhají experimenty na vybraných plodinách (rajčata, papriky, lilky) přímo na pozemcích zelinářské farmy v Polabí a výsledky těchto experimentů může tato farma rovnou aplikovat do praxe. Ověření modelu CROPGRO naznačilo, že model byl úspěšně kalibrován a nyní je připraven k vyhodnocení experimentálních změn v různých klimatických podmínkách. Závěrem lze říci, že kalibrace a vyhodnocení modelu CROPGRO-Tomato v této studii ukázaly schopnost modelu simulovat vliv probíhajícího polního hospodaření a klimatických vlivů na růstové charakteristiky rajčat a paprik. Tyto výsledky mohou být využity pro budoucí implementaci vhodných strategií pro management plodin a klimatické prognózy. Odrůda rajčete jedlého TORNÁDO F1 přináší vysoké ekonomické výnosy na jednotku půdy a nabízí tak slibné perspektivy příjmů, zejména pro drobné pěstitelé. Předpokládá se, že používání odrůd s tolerancí k jarním mrazům a srážkovému deficitu je důležitým adaptačním opatřením pro polní rajčata.

Studie zkoumala také výkonnost tří odrůd řepky ozimé Temptation, Architect a Sněžka na třech různých experimentálních lokalitách v současných a předpokládaných klimatických podmínkách. Studie hodnotila výnosovou výkonnost odrůd pomocí simulačního modelu CROPGRO-Canola. Výsledky studie ukázaly, že odrůda Sněžka měla nejvyšší výnosy na všech třech lokalitách. V případě obsahu oleje v semenech vykazovala nejvyšší hodnoty odrůda Temptation, zatímco odrůdy Sněžka a Architect měly střední obsah oleje v semenech. Vzhledem k pokusným lokalitám měla nejvyšší výnosové výsledky lokalita Vysoká, naopak nejnižší výnosové výsledky byly zjištěny na lokalitě Chrastava. Na základě těchto zjištění studie naznačuje, že odrůdy Temptation a Sněžka by mohly být potenciálními odrůdami řepky ozimé pro vyšší výnosy semen a oleje, což by v konečném důsledku mohlo vést k vyšším ziskům zemědělců a pomoci při rozhodování o způsobu hospodaření.

Aplikace simulačního modelu CROPGRO-Canola je, ale v případě využití u řepky ozimé vzhledem k omezenému rozsahu testování v počáteční fázi a pro širší uplatnění bude vyžadovat ještě další testování.

## KAPITOLA X. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ



Novost postupů prezentovaných v této metodice spočívá v kombinaci simulačních technik ve spojení se scénáři klimatických změn. Tato metodika kombinuje v současnosti používané zemědělské postupy a různé scénáře předpokládaných měnících se klimatických podmínek do poloviny století. Dále byla popsána podrobná studie modelu CSM-CROPGRO pro teplomilnou zeleninu a olejninu na základě dynamiky hospodaření v systému půda-počasí-plodina. Tento model nebyl dříve v České republice příliš využíván, neboť v tomto regionu neexistovala podrobná studie provozního řízení modelu. Rozvoj této metodiky s vyhodnocením výkonnosti pomůže identifikovat vhodnější odrůdy plodin a posoudit nadcházející budoucí klimatické hrozby v souvislosti se strategickými adaptačními a mitigačními opatřeními, a to jak pro blízkou, tak i pro vzdálenou budoucnost.

Očekává se, že změna klimatu bude mít významný dopad na regionální a celosvětovou produkci potravin. Pro lepší pochopení a předvídání těchto dopadů může být pro výzkumné pracovníky cenným přínosem multidisciplinární přístup, který propojuje klimatické, ekonomické a růstové modely. Dynamické simulační modely systému půda-rostlina-atmosféra mohou přispět ke zlepšení výkonnosti plodin a předvídání dopadů na životní prostředí v různých systémech hospodaření. Za hlavní přínos nabízené metodiky lze považovat nový přístup, který obsahuje podrobný popis využití modelu CSM-CROPGRO v systému pro podporu rozhodování v oblasti transferu agrotechnologií (DSSAT) pro simulace průběžných pěstebních opatření v souvislosti se současnými a předpokládanými scénáři změny klimatu. Efektivní výpočetní technika ve spojení s pokroky v oblasti modelování kontinuálních simulací do budoucna nabízí možnost provádět širokou škálu navazujících či obdobných analýz k výše popsaným metodickým východiskům s ambicí hledat co nejpřesnější odhady možných dopadů změny klimatu na agrosystémy s možnou kapacitou adaptačních a mitigačních opatření. Tento přístup umožnil kvantifikovat vliv různých způsobů hospodaření a dopad sdružených klimatických jevů na růst a vývoj teplomilných druhů zeleniny a olejnin nejen v České republice, ale i v dalších evropských zemích.

## KAPITOLA XI. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY



Předložená metodika se zaměřila na aspekty hodnocení nově navrženého dynamického simulačního modelu plodin, který byl kalibrován a ověřen v experimentálních polních podmínkách. Tato hodnocení výkonnosti modelu CSM-CROPGRO mohou být využita různými způsoby, od strategií rostlinné výroby na úrovni zemědělců až po plánování politik pro celý zemědělský sektor. Tuto certifikovanou metodiku lze využít jako výzkumný a výukový materiál pro studium zemědělství a přírodních věd se zaměřením na očekávané dopady změny klimatu na produkci plodin a strategie adaptačních opatření. Může být také zdrojem informací pro klimatické a zemědělské poradenské služby.

Na základě modelování lze odrůdy testované na lokalitách Chrastava, Staňkov a Vysoká hodnotit následovně. Simulované výnosy hybridní odrůdy Architect jsou spíše nižší, vysoký potenciál ve výnosu oleje má hybridní odrůda Temptation a vysokou stabilitu simulovaného výnosu semene má liniová odrůda Sněžka. Simulační model CROPGRO-Canola byl poprvé testován v podmínkách České republiky. Možné uplatnění je reálné při modelování vhodnosti odrůd do různých agroklimatických podmínek na základě dat získaných během zkoušení užitné hodnoty v maloparcelních pokusech během registračního řízení a následně při zkoušení pro doporučení.

Pěstování zelenin ve vhodných oblastech by i v ČR bylo přínosem nejen pro produktivitu vlastní rostlinné výroby, ale zelenina by mohla mít i nezanedbatelný význam jako tržní plodina. Dosud malé rozšíření ploch plodové zeleniny v ČR lze vysvětlit tím, že jde v našich podmínkách o maloobjemové plodiny, že nejsou k dispozici vhodné odrůdy pro půdně-klimatické podmínky ČR a že plodová zelenina u nás dává jen malou výnosovou jistotu, která je ovlivněna zejména značnou náročností na teplotu. V důsledku šlechtění a zavádění nových výnosných odrůd zelenin se nyní začíná rozšiřovat i pěstování rajčat, paprik a lilků do vyšších zeměpisných šířek. Výběr vhodného stanoviště a vhodné odrůdy je proto hlavním faktorem, který v současné situaci v podstatě rozhoduje o pěstitelském úspěchu. Pod pojem vhodnost odrůdy musíme zahrnout i značnou šíři její přizpůsobivosti k častým výkyvům počasí jak během přechodného jarního období v době zakládání a vzházení porostů, tak i v průběhu hlavní vegetace. Z těchto důvodů za účelem maximální eliminace uvedených skutečností je proto třeba věnovat velkou pozornost jak již zmíněnému výběru odrůdy, volbě polohy a pozemku, včetně jeho

---

přípravy, tak i všem dalším agrotechnickým a ochranným opatřením. Právě této problematice je věnována tato metodika. Existuje několik možností zavedení jejích výstupů/výsledků do praxe. Tato metodika může sloužit jako podklad pro:

- tvorbu elektronického atlasu v podobě sady interaktivních map znázorňujících vhodnost pěstování jednotlivých zelenin v jednotlivých regionech ČR;
- vypracování analýzy rizik agrometeorologických situací, které ovlivňují pěstování jednotlivých zelenin v jednotlivých regionech na území ČR;
- vytvoření strategie změn pro pěstování jednotlivých druhů zelenin v podmínkách klimatické změny;
- vytvoření efektivních adaptačních opatření k využití závlah vhodných pro různé lokality ČR;
- vytvoření efektivních adaptačních opatření k ochraně pěstovaných zelenin.

Pro další výzkum a výuku budou k dispozici:

- nové zaměření výuky pěstování zelenin;
- nové poznatky o současné i očekávané změně klimatu;
- nové informace o nepříznivých situacích v citlivých fázích růstu rostlin v souvislosti se ztrátou výnosů zelenin;
- kategorizace území ČR z hlediska míry rizika výskytu rizikových meteorologických a agroklimatických jevů;
- zapojení doktorandů a nových pracovníků do výzkumu pěstování zelenin.

## KAPITOLA XII. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomické hodnocení metodiky ukázalo možnost získat informace o dopadech způsobů hospodaření a vlivů klimatických změn na vlastnosti výnosů teplomilných druhů zelenin a olejnin. Vhodná doba výsadby a založení porostu v optimálních klimatických podmínkách je jedním z hlavních faktorů pro dosažení lepších výnosů plodin, které jsou pro pěstitele klíčovou složkou pro dosažení lepších ekonomických výnosů. Výběr nejlepších potenciálních odrůd a předpověď jejich výnosů na základě dynamického modelování plodin předcházející pokusným zkouškám mohou být úsporné z časového i finančního hlediska. Tuto metodiku lze využít jako zdroj informací o vhodných postupech hospodaření v průběhu celého období pěstování, např. ohledně množství a aplikace hnojiv, řízeného zavlažování, efektivní sklizně a posklizňového hospodaření, které mohou optimalizovat ziskovost podniku.

Zvýšení efektivity pěstování a výběru vhodných zelenin v jednotlivých regionech přinese zvýšení produkce a snížení ztrát se promítne do ekonomiky pěstování zelenin. Tato metodika povede ke zvýšení efektivity produkce díky lepšímu managementu a využívání výsledků aplikovaného výzkumu. Rozvoj zelinářské produkce je ovlivňován jak socioekonomickými faktory, které se ukázaly jako stěžejní v době epidemie, jako bylo omezení zahraničního obchodu a mobility pracovníků, tak i dopady klimatických změn, které mohou být negativní (dostupnost vody, výskyt extrémních meteorologických jevů) i pozitivní (možné rozšíření rajonizace). Ke zvýšení soběstačnosti v samozásobitelství zeleniny je nutné navýšení produkční plochy na přibližně dvojnásobek a také rekonstrukce závlahových systémů. Pro pěstitele zeleniny je také problém dumpingový dovoz zeleniny ze zemí s nižším zdaněním, proto je potřebná podpora ze strany státu. Pro zohlednění všech těchto faktorů využívá tato metodika z hlediska metodologie kombinaci pozorování, experimentů a modelování. Z celkové spotřeby zeleniny v ČR tvoří dovoz kolem 60 %, proto je nutné zvyšovat ekonomickou konkurenceschopnost českých zemědělců. K tomu je třeba zařadit pozici odolnosti (resilience) jako dosud málo zkoumaného nástroje k vyrovnání se s důsledky známých socioekonomických aspektů (flexibilita, edukace, poradenství, inovace, technologie), které je ale nutné analyzovat zvláště pro zjištění toho, který z těchto faktorů je zásadní prvotní charakteristikou soběstačnosti.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Boote, K. J. (Ed.). 2019. Advances in crop modeling for a sustainable agriculture. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, United Kingdom.  
<https://shop.bdspublishing.com/store/bds/detail/workgroup/3-190-82506>.
- Cammarano, D., Jamshidi, S., Hoogenboom, G., Ruane, A. C., Niyogi, D. and Ronga, D. 2022. Processing tomato production is expected to decrease by 2050 due to the projected increase in temperature. *Nature Food*, 3(6), 437-444.
- Cavero, J., Plant, R. E., Shennan, C., Williams, J. R., Kiniry, J. R. and Benson, V. W. 1998. Application of EPIC model to nitrogen cycling in irrigated processing tomatoes under different management systems. *Agricultural systems*, 56(4), 391-414.
- Deligios, P. A., Farci, R., Sulas, L., Hoogenboom, G. and Ledda, L. 2013. Predicting growth and yield of winter rapeseed in a Mediterranean environment: Model adaptation at a field scale. *Field Crops Research*, 144, 100-112.
- Dimokas, G., Tchamitchian, M. and Kittas, C. 2009. Calibration and validation of a biological model to simulate the development and production of tomatoes in Mediterranean greenhouses during winter period. *biosystems engineering*, 103(2), 217-227.
- Doltra, J. and Muñoz, P. 2010. Simulation of nitrogen leaching from a fertigated crop rotation in a Mediterranean climate using the EU-Rotate\_N and Hydrus-2D models. *Agricultural Water Management*, 97(2), pp.277-285.
- dos Santos, M. M., da Silva, R. S., Soares, M. A., Lopes, É. M. G. and Shabani, F. 2022. Global risks of *Bedellia somnulentella* (Lepidoptera: Bedelliidae) invasion: a modeling exercise using a mechanistic model, CLIMEX. *Theoretical and Applied Climatology*, 149(1-2), 401-411.
- Fazel, F., Ganji Khorramdel, N. and Gheysari, M. 2016. Simulation of soil nitrate and water distribution in two different surface and drip irrigation systems using Eu-Rotate-N in Isfahan. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 10(3), 377-388.
- FreshPlaza, EC. 2021. EU agricultural outlook for markets, income and environment, 2021-2031. European Commission, DG Agriculture and Rural Development, russels.
- Giménez, C., Gallardo, M., Martínez-Gaitán, C., Stöckle, C. O., Thompson, R. B. and Granados, M. R. 2013. VegSyst, a simulation model of daily crop growth, nitrogen uptake and evapotranspiration for pepper crops for use in an on-farm decision support system. *Irrigation Science*, 31, 465-477.
- Giuliani, M. M., Gatta, G., Cappelli, G., Gagliardi, A., Donatelli, M., Fanchini, D., De Nart D., Mongiano, G. and Bregaglio, S. 2019. Identifying the most promising agronomic adaptation strategies for the tomato growing systems in Southern Italy via simulation modeling. *European Journal of Agronomy*, 111.
- Grieneisen, M. L., Aegerter, B. J., Scott Stoddard, C. and Zhang, M. 2018. Yield and fruit quality of grafted tomatoes, and their potential for soil fumigant use reduction. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, pp.1-16.
- Heuvelink, E. and Bertin, N. 1994. Dry-matter partitioning in a tomato crop: comparison of two simulation models. *Journal of horticultural science*, 69(5), pp.885-903.
- Heuvelink, E. and Marcelis, L. F. M. 1996. Influence of assimilate supply on leaf formation in sweet pepper and tomato. *Journal of Horticultural Science*, 71(3), pp.405-414.
- Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Shelia, V., Wilkens, P. W., Singh, U., White, J.W., Asseng, S., Lizaso, J. I., Moreno, L. P., Pavan, W., Ogoshi, R., Hunt, L. A., Tsuji, G. Y. and Jones, J.W. 2019a. The DSSAT crop modeling ecosystem. *IN*: p.173-216 [K.J. Boote,

- editor] *Advances in Crop Modeling for a Sustainable Agriculture*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, United Kingdom  
(<http://dx.doi.org/10.19103/AS.2019.0061.10>)
- Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Shelia, V., Wilkens, P. W., Singh, U., White, J. W., Asseng, S., Lizaso, J. I., Moreno, L. P., Pavan, W., Ogoshi, R., Hunt, L. A., Tsuji, G. Y. and Jones, J. W. 2019b. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7.5 ([www.DSSAT.net](http://www.DSSAT.net)). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
- Ide, R., Ichiki, A., Suzuki, T. and Jitsuyama, Y. 2022. Analysis of yield reduction factors in processing tomatoes under waterlogging conditions. *Scientia Horticulturae*, 295, 110840.
- Jones, J. W., Jagtap, S. S., Hoogenboom, G. and Tsuji, G. Y. 1991. The structure and function of DSSAT.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J. and Ritchie, J. T. 2003. DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy* 18:235-265.
- Karkanis, A., Ntatsi, G., Alemardan, A., Petropoulos, S. and Bilalis, D. 2018. Interference of weeds in vegetable crop cultivation, in the changing climate of Southern Europe with emphasis on drought and elevated temperatures: a review. *The Journal of Agricultural Science*, 156(10), 1175-1185.
- Litskas, V. D. M., Navajas A., Tixier M., Stéphane, M. and Stavrinides, M. C. 2019. Impacts of climate change on tomato, a notorious pest and its natural enemy: small scale agriculture at higher risk. *Environmental Research Letters*, 14(8), 084041.
- Malý, I. 1998. *Polní zelinářství*. Agrospoj Praha, 196 s.
- Marcelis, L. F. M., Elings, A., De Visser, P. H. B. and Heuvelink, E. 2008. Simulating growth and development of tomato crop. In *International Symposium on Tomato in the Tropics 821* (pp. 101-110).
- Meier, U. (Ed.) 1997. BBCH-Monograph. Growth stages of plants. Entwicklungsstadien von Pflanzen. Estadios de las plantas. Stades dedéveloppement des plantes. Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, Wien, 622 p.
- Petřiková, K., Janský, J., Malý, I., Peza, Z., Polačkova, J., Rod, J. 2006. *Zelenina – pěstování, ekonomika, prodej*. Profi Press: Praha, 237 pp
- Petřiková, K., Hlušek, J., Janský, J., Koudela, M., Lošák, T., Malý, I., Pokluda, R., Polačkova, J., Rod, J., Ryant, P., Škarpa, P. 2012. *Zelenina*. Profi Press: Praha, 191 pp.
- Potopová, V., Trifan, T., Trnka, M., Michele, C. De., Semerádová, D., Fischer, M., Meitner, J. Musiolková, M., Muntean, N., Clothier, B.** 2023. Copulas modelling of maize yield losses – drought compound events using the multiple remote sensing indices over the Danube River Basin. *Agricultural Water Management*, 280. 1-21.
- Potopová, V., Lhotka, O., Možný, M., Musiolková, M.** 2021a. Vulnerability of hop-yields due to compound drought and heat events over European key-hop regions. *International Journal of Climatology*, 41. S1: E2136-E2158.
- Potopová, V., Tůrkott, L., Musiolková, M., Možný, M.** 2021b. The compound nature of soil temperature anomalies at various depths in the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*. 146, 1257–1275.
- Priestley, C. H. B. and Taylor, R. J. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly weather review*, 100(2), pp.81-92.
- Rameshwaran, P., Tepe, A., Yazar, A. and Ragab, R. 2015. The effect of saline irrigation water on the yield of pepper: experimental and modelling study. *Irrigation and Drainage*, 64(1), pp.41-49.

- Ramirez, A., Rodriguez, F., Berenguel, M. and Heuvelink, E. 2004. Calibration and validation of complex and simplified tomato growth models for control purposes in the southeast of Spain. In *International Workshop on Models for Plant Growth and Control of Product Quality in Horticultural Production 654* (pp. 147-154).
- Reddy, A., Gopala, R. and Tiwari, K. N. 2018. Assessment of CROPGRO-Bellpepper model under different nitrogen levels through fertigation. *Internat. J. Agric. Engg.*, 11(1) : 101-107, [DOI: 10.15740/HAS/IJAE/11.1/101-107](https://doi.org/10.15740/HAS/IJAE/11.1/101-107)
- Riahi K, Gruebler, A. and Nakicenovic, N. 2007 Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technol Forecast Soc Change* 74: 887–935
- Rinaldi, M., Ventrella, D. and Gagliano, C. 2007. Comparison of nitrogen and irrigation strategies in tomato using CROPGRO model. A case study from Southern Italy. *Agricultural water management*, 87(1), 91-105.
- Rinaldi, M. 2001. Application of EPIC model for irrigation scheduling of sunflower in Southern Italy. *Agricultural Water Management*, 49(3), 185-196.
- Sánchez-Molina, J. A., Perez, N., Rodríguez, F., Guzmán, J. L., and López, J. C. 2015. Support system for decision making in the management of the greenhouse environmental based on growth model for sweet pepper. *Agricultural Systems*, 139, 144-152.
- Saseendran, S. A., Nielsen, D. C., Ma, L. and Ahuja, L. R. 2010. Adapting CROPGRO for simulating spring canola growth with both RZWQM2 and DSSAT 4.0. *Agronomy Journal*, 102(6), 1606-1621.
- Scholberg, J. M. S., Boote, K. J., Jones, J. W. and McNeal, B. L. 1997. Adaptation of the CROPGRO model to simulate the growth of field-grown tomato. In *Applications of Systems Approaches at the Field Level: Volume 2 Proceedings of the Second International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development, held at IRRI, Los Baños, Philippines, 6–8 December 1995* (pp. 135-151). Springer Netherlands.
- Silva, R., Kumar, L., Shabani, F. and Picanço, M. 2017. Assessing the impact of global warming on worldwide open field tomato cultivation through CSIRO-Mk3.0 global climate model. *The Journal of Agricultural Science*, 155(3), 407-420. [doi:10.1017/S0021859616000654](https://doi.org/10.1017/S0021859616000654)
- Soto, F., Gallardo, M., Giménez, C., Peña-Fleitas, T. and Thompson, R. B. 2014. Simulation of tomato growth, water and N dynamics using the EU-Rotate\_N model in Mediterranean greenhouses with drip irrigation and fertigation. *Agricultural Water Management*, 132, 46-59.
- Štěpánek, P., Trnka, M., Meitner, J., Dubrovsky, M., Zahradníček, P., Lhotka, O., Sklák, P., Kyselý, J., Farda, A. and Semerádová, D. 2019. *Expected Climatic Conditions in the Czech Republic, Part I. Change in Basic Parameters*; Global Change Research Institute of the Czech Academy of Sciences (GCRI): Brno, Czech Republic.
- Williams, J. R., Jones, C. A. and Dyke, P. T. 1984. The EPIC model and its application. In *Proc. Int. Symp. on minimum data sets for agrotechnology transfer* (pp. 111-121). India: Patancheru.
- Williams, J. R. 2002. The APEX manure management component. In *Total Maximum Daily Load (TMDL): Environmental Regulations, Proceedings of 2002 Conference* (p. 44). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

## SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- Potopová, V., Chawdhery, Md.R.A., Muntean, N.,** Hoogenboom, G. Boote, K.J., Musiolková M. 2023b. Metodika simulace produkce plodin, hospodaření s vodou a živinami, klimatických rizik a environmentální udržitelnosti v DSSAT. Česká zemědělská univerzita v Praze. 1–394 p. ISBN 978-80-213-3254-6. <https://metodiky.agrobiologie.cz/metodika-simulace-produkce-plodin/>.
- Potopová, V.,** Trnka, M., Vizina, A., Semerádová, D., Balek, J., **Chawdhery, M. R. A,** Musiolková, M., Pavlík, P., **Možný, M.,** Štěpánek, P., Clothier, B. 2022. Projection of 21st century irrigation water requirements for sensitive agricultural crop commodities across the Czech Republic. *Agricultural Water Management*. 262, 107337, 1-24.
- Muntean, N., Chawdhery, A.R., Potopová, V.,** Türkott, L., 2021. The ability of CROPGRO-Tomato model to simulate the growth characteristics of Thomas F1 tomato cultivar grown under open field conditions. *Journal of Agricultural Science*, 1-15.
- Potopová, V.** 2020. Kapitola 4: Změna klimatu a jeho ochrana jako prioritní politická debata. In: Poláková J, Potopová V, Holec J. *Ochrana přírodních zdrojů v politice rozvoje venkova*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 174-207.
- Potopová, V.** 2018. Nové poznatky, které jsou odrazem změny klimatu – vliv sucha na rostlinnou produkci. *Agromanuál*, roč. 13, č. 8, s. 102-105. ISSN: 1801-7673.
- Potopová, V., Zahradníček, P.,** Štěpánek, P., Türkott, L., Farda, A., **Soukup, J.** 2017a. The impacts of key adverse weather events on the field-grown vegetable yield variability in the Czech Republic from 1961 to 2014. *International Journal of Climatology*, 37(3), 1648-1664. doi: [10.1002/joc.4807](https://doi.org/10.1002/joc.4807)
- Potopová, V.,** Türkott, L., Hiřmanová, D. 2017b. Využití modelu CROPGRO-Tomato pro simulaci růstových parametrů rajčete jedlého v polních podmínkách Polabí. 2017, In: *Mrazy a jejich dopady*, Hrubá Voda 26.–27.4.2017, 14 s. ISBN: 978-80-87577-69-1.
- Potopová, V.,** Štěpánek, P., Farda, A., Türkott, L., **Zahradníček, P., Soukup, J.** 2016. Drought stress impact on vegetable crop yields in the Elbe river lowland between 1961 and 2014. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42 (1), 127-144.
- Potopová, V., Zahradníček, P.,** Türkott, L., Štěpánek, P., **Soukup, J.** 2015. The effects of climate change on variability of the growing seasons in the Elbe River Lowland, Czech Republic. *Advances in Meteorology*, 1-16.
- Potop, V., Zahradníček, P.,** Türkott, L., Štěpánek, P., **Soukup, J.** 2014a. Risk occurrences of damaging frosts during the growing season of vegetables in the Elbe River lowland, the Czech Republic. *Natural Hazards*, 71 (1), 1-19.
- Potop, V., Zahradníček, P.,** Türkott, L., Štěpánek, P., **Soukup, J.** 2014b. Potential impacts of climate change on damaging frost during growing season of vegetables. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 45 (1), 26-35.
- Potop, V.,** Türkott, L. 2014c. Agronomická evidence vstupních dat pro růstový model zelenin CROPGRO. *Úroda*, 62 (12), 405-408.
- Potop, V., Potop, I.** 2014d. Rizikové meteorologické faktory pro tvorbu výnosu lilku v polních podmínkách ve střední části Polabí. *Zahradnictví*, 13 (7), 10-14.
- Potop, V., Zahradníček, P.,** Türkott, L., Štěpánek, P., **Soukup, J.** 2014e. Risk analysis of the first and last frost occurrences during growing season of vegetables in the Elbe River lowland. *Idojaras*, 118 (1), 1-17.
- Potop, V., Zahradníček, P.,** Türkott, L., Štěpánek, P. 2014f. Plošné rozložení pozdních jarních a časných podzimních mrazů v Polabí. *Meteorologické zprávy*, roč. 67, č. 3, s. 78-84.

- 
- Potop, V., Zahradníček, P.,** Türkott, L., Štěpánek, P. 2014g. Časové změny vegetačního období Polabí. Meteorologické zprávy, 67 (5), 147-153.
- Potop V.,** Türkott L. 2014h. Agronomická evidence vstupních dat pro růstový model zelenin CROPGRO. Úroda, 62, 405-408.
- Potop, V.,** Türkott, L., **Zahradníček, P.,** Štěpánek, P. 2013. Hodnocení agroklimatického potenciálu oblasti České tabule pro pěstování zeleniny. Meteorologické zprávy, 66 (2), 42-48.
- Potop, V., Možný, M., Soukup, J.** 2012. Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. Agricultural and Forest Meteorology, 156, 121-133.
- Potop, V.,** Koudela, M., **Možný, M.** 2011a. The impact of dry, wet and heat episodes on the production of vegetable crops in Polabí (River Basin). Scientia Agriculturae Bohemica, 42 (3), 93-101.
- Potop, V., Možný, M.** 2011b. Relationship between daily amplitude of air temperature and topography elements at vegetable field-scale. Úroda, 59 (10), 499-511.
- Potop, V.** 2010. Temporal variability of daily climate extremes of temperature and precipitation in the middle Polabí (Elbeland) lowland region. Scientia Agriculturae Bohemica, 41 (3), 140-148.
- Trnka, M., Brázdil, R., Brilli, L., von Czettritz und Neuhaus, H.C., Aumedes, S.C., Dobrovolný, P., Holub, P., Klem, K., Kuhnert, M., Leolini, L., Moriondo, M., **Muntean, N.,** Olesen, J.E., Poděbradská, M., **Potopová, V.,** Štěpánek, P., Urban, O., Zander, P., Nendel, N. 2023. Modelling the impact of climate change on agriculture in Europe. Chapter in the book: Modelling climate change impacts on agriculture systems. Burleigh Dodds Science Publishing Limited. 555 p. ISBN-13:9781801461740.

Příloha 1. Experimenty s plodinami ve skleníku a na poli. Předpěstování sazenic ve fóliovníku a skleníku.

















Obr. 4 – Stav porostu po vydatných dešťových srážkách v červnu 2013 (a) a obnověný stav porostu v srpnu 2013(b)

klasifikovány jako: velmi malý (100 g), malý (100–200 g), střední (200–400 g); velký (400–800 g) a velmi velký (více než 800 g) (Stojkoska a kol., 2005). V roce 2012 dosáhla odrůda 'Český raný' průměrné hmotnosti plodu 250 g oproti 215 g v roce 2013. Zatímco 'Black Pearl F1' v roce 2013 dosáhla průměrné hmotnosti plodu 480 g, což se podle standardu řadí do velké hmotnosti plodu. Z hlediska délky může plod být: krátký (do 10 cm), středně dlouhý (10–25 cm), dlouhý (25–40 cm) a velmi dlouhý (nad 40 cm). 'Český raný' dosáhl v průměru délky plodu mezi 9 a 12 cm, zatímco 'Black Pearl F1' okolo 15 až 20 cm. Velmi důležitý je termín sklizně. První sklizeň započala, když byly plody plně vybarvené, s výrazným leskem pokožky, avšak stále pevné a při poklepu vydávaly dutý zvuk. Nesmí však být plně vyzrálé, uvnitř nemají být už vyzrálá semena, která jsou tvrdá a poněkud zhoršují dojem při jídle. U 'Českého raného' v roce 2012 bylo sklizeno 1,8 kg plodu na rostlinu oproti 1,4 kg plodu na rostlinu v roce 2013. 'Black Pearl F1' měl v roce 2013 výnos třikrát vyšší (4,3 kg/rostlina) než odrůda 'Český raný'. U lilku a další probírkově sklizené zeleniny má velký význam rozložení sklizně do pokud možno co nejdélsího období s co nejranějším počátkem. Sledovali jsme hmotnost sklizených plo-

dů v jednotlivých sklizních vyjádřenou v % z celkového výnosu v roce 2012 a 2013 (graf 4). Při porovnání let 2012 a 2013 v jednotlivých sklizních u 'Českého raného' je patrný výrazný rozdíl v časnější sklizní výnosu. Více než 50 % z celkového výnosu bylo sklizeno v prvních šesti termínech (červenec) v roce 2012 a při posledních sedmi až osmi sklizních (srpen-září) v roce 2013. Jak je patrné z grafu 4, délka sklizňového období hybridní odrůdy 'Black Pearl F1' byla kratší než u 'Českého raného' a většina výnosu byl sklizena v období od 30. července do 31. srpna 2013.

#### Diskuse

Historicky je prokázán relativně vysoký potenciál Polabí k efektivnímu pěstování zeleniny, a to i druhů teplomilných. Jedním z projevů klimatické změny je vyšší četnost výskytu rizikových meteorologických jevů, které mají negativní vliv na růst a vývoj teplomilných zelenin. Zvýšená variabilita klimatického systému povede k nejistotě výnosů zemědělské produkce. Adaptační mechanismy budou převážně ve formě změny technologií výroby a změny a rozšíření sortimentu pěstovaných plodin popř. odrůd. V důsledku klimatické změny popsané klimatickým modelem dojde v oblasti Polabí k vytvoření vhodných podmínek pro efektivní pěstování teplomilných zelenin (Po-

top a kol., 2014). Náš pokus byl založen v polních podmínkách, kde byly rostliny pěstovány klasickou technologií, a v průběhu pokusu byly sledovány: meteorologické faktory, agrotechnické postupy, fenologické fáze a výnosové parametry. Na základě založeného pokusu v polních podmínkách byl také monitorován vývoj extrémních teplot (teplotní stres) v období růstu a vývoje rostlin. Získaná experimentální data a poznatky mohou být aplikovány dále na případových studiích pro tvorbu růstových modelů jako nástroj pro zvýšení produkčního potenciálu krajiny při pěstování teplomilných zelenin. V dnešní době je dostupná celá řada růstových modelů, které z hlediska biologických a technologických aspektů udržitelnosti slouží jako nástroj pro plánování řízených ekosystémů. Pro jejich kalibraci je zapotřebí vhodná experimentální databáze. Přestože lilky byly pěstovány v extrémních vegetačních obdobích a výnos byl ovlivněn několika nebezpečnými rizikovými meteorologickými jevy, tak agroklimatický potenciál i vhodný agrotechnický postup umožní pěstovat lilky i ve volné půdě na farmářských polích ve středním Polabí (Potop a kol., 2013a, b).

#### Závěr

V článku je prezentován průběh počasí v jednotlivých měsících od

března do listopadu v letech 2012 a 2013 společně s popisem významných událostí způsobených počasím na vývoj porostu lilku v Mochově. Vegetační období 2012 a 2013 byla extrémní výskytem suchých epizod a povodní. Nejkratší vegetační období baklažánu nastalo v roce 2013 a bylo způsobeno jeho pozdní výsadbou a teplotními anomáliemi v Polabí. Z teplotní a vláhové analýzy pokusného pozemku vyplývá, že rok 2013 byl z hlediska vývoje těchto charakteristik velice různorodý s výraznými rozdíly během vegetačního období. Z důvodu nízkých teplot a vydatných dešťových srážek v jarním období se výsadba baklažánu zpozdila. Z evidence polního pokusu v roce 2013 lze uvést následující negativní vlivy: zpoždění výsadby lilku, velmi chladný a vlhký počátek vegetace, přemokčení a nedostatek půdního vzduchu. Tyto negativní faktory pak zpomalily růst rostlin lilku. Rozhodující rizikový faktor pro tvorbu výnosu lilku v roce 2012 byl teplotní stres způsobený velkými rozdíly mezi noční a denní teplotou vzduchu ve fázi kvetení. V roce 2013 byly tímto faktorem nízké noční teploty a silné příválové deště v průběhu června.

Text a foto Dr. Potop Vera,<sup>1)</sup>

Ing. Potop Igor,<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> katedra agroekologie  
a biometeorologie  
ČZU v Praze,

<sup>2)</sup> Zemědělský podnik Hanka  
Mochov s. r. o.

Článek byl odborně recenzován.

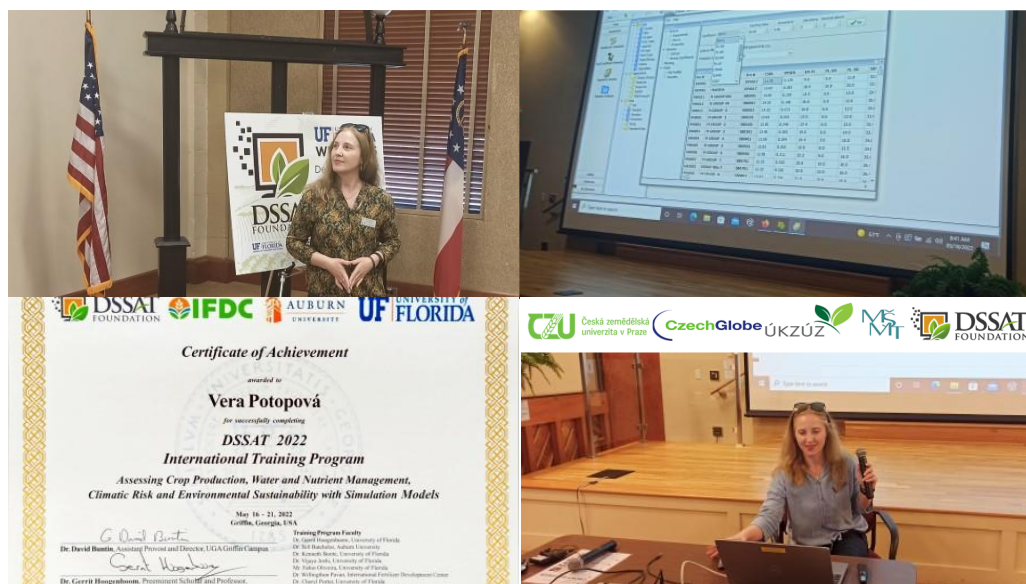
#### Poděkování

Tato práce vznikla s institucionální podporou Programu pro dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné instituce poskytované Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Seznam literatury je k dispozici u autorů a v redakci časopisu.



Příloha 3. Odběr půdních vzorků na experimentálních lokalitách řepky ozimé



Doc. Dr. Mgr. Vera Potopová je mezinárodně uznávanou expertkou v oblasti „crop modelling“, tj. v modelování růstových parametrů teplomilných zelenin pod závlahou.



## Smlouva o uplatnění certifikované metodiky

s názvem „Modelování dopadů sdružených klimatických událostí na růst, vývoj a výnosové parametry polních teplomilných zelenin a řepky olejné v systému pro podporu rozhodování v oblasti transferu agrotechnologií – DSSAT“ zpracované v rámci řešení výzkumného projektu MŠMT CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000797

uzavřená podle ustanovení § 1746 odst. 2 zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „občanský zákoník“)  
(dále také jen „smlouva“)

### Smluvní strany:

- 1. Česká zemědělská univerzita v Praze**  
se sídlem Kamýčká 129, 165 00, Praha - Suchdol  
IČO: 60460709  
DIČ: CZ60460709  
zastoupená prof. Ing. Petrem Skleničkou, CSc., rektorem  
(dále jen „poskytovatel metodiky“)
- 2. HANKA MOCHOV s. r. o.**  
se sídlem Starý Dvůr 302, 250 87 Mochov a Zálezlice 112, 277 45 Zálezlice  
IČO: 271 17 243  
DIČ: CZ27117243  
zastoupená Ing. Petrem Hankou, jednatelem  
(dále jen „uživatel metodiky“)  
  
(společně také dále jako „smluvní strany“)

### Článek 1

#### Předmět smlouvy

1.1. Předmětem této smlouvy je uplatnění metodiky s názvem „Modelování dopadů sdružených klimatických událostí na růst, vývoj a výnosové parametry polních teplomilných zelenin a řepky olejné v systému pro podporu rozhodování v oblasti transferu agrotechnologií – DSSAT“ zpracované v rámci řešení výzkumného projektu „SustES – Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách“ (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000797).

### Článek 2

#### Autorství metodiky a cíl uplatnění metodiky

2.1. Autorem metodiky jsou pracovníci České zemědělské univerzity, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský a Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. Zástupcem autorského týmu je doc. Dr. Mgr. Vera Polopová.

## Metodika pro praxi – Potopová a kol. 2023



Česká zemědělská  
univerzita v Praze



DSSAT  
FOUNDATION

|                                      |                             |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Za autora metodiky (za autorský tým) |                             |
| V Praze dne: <u>5.05.2023</u>        | Doc. Dr. Mgr. Vera Potopová |



### Podpisy smluvních stran

|                                          |                                                                                                                                    |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Za poskytovatele metodiky                | <p>Česká zemědělská univerzita v Praze (4/4)</p>                                                                                   |
| V Praze dne: <u>12.05.2023</u>           | prof. Ing. Petr Sklenička, CSc., rektor                                                                                            |
| Za uživatele metodiky                    | <p>HANKA MOCHOV s.r.o.<br/>pěstování a prodej zeleniny<br/>Starý Dvůr 302, 250 87 Mochovo<br/>IČO: 271 17 243, DIČ: CZ27117243</p> |
| V dne: <u>18.05.2023</u><br><i>Hanka</i> | Ing. Petr Hanka, jednatel                                                                                                          |

Prověřeno právním odd. ČZU v Praze





Ústřední kontrolní  
a zkušební ústav zemědělský  
Držitel certifikátu ISO 9001

Hroznová 2  
603 00 Brno

www.ukzuz.cz  
ID DS: ugbaiaq7

IČO: 00020338  
DIČ: CZ00020338

vydává

## OSVĚDČENÍ

UKZUZ 106522/2023

o uznání metodiky v souladu s podmínkami Metodiky hodnocení výzkumných organizací a programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací, schválené usnesením vlády dne 8. února 2017, číslo 107 a její samostatné přílohy č. 4 schválené usnesením vlády dne 29. listopadu 2017 č. 837.

Název metodiky: **Modelování dopadů sdružených klimatických událostí na růst, vývoj a výnosové parametry polních teplomilných zelenin a řepky olejné v systému pro podporu rozhodování v oblasti transferu agrotechnologií - DSSAT**

Autor/autoři: **doc. Dr. Mgr. Vera Potopová; Ing. Nina Muntean;  
Md. Rafique Ahasan Chawdhery; Mgr. Tudor Trifan; Ing. Petr Zehnálek;  
prof. Ing. Josef Soukup, CSc.; Ing. Igor Potop;  
Mgr. Pavel Zahradníček, Ph.D.; Dr. Ing. Martin Možný**

Název organizace/ci: **Česká zemědělská univerzita v Praze,  
Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně,  
Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i.**

Místo vydání: **Praha**

Rok vydání: **2023**

Metodika byla vypracovaná v rámci výzkumného projektu „SustES – Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách“ (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000797).

Brno 20. 6. 2023

Ing. Daniel Jurečka  
ředitel ústavu

.....  
podpis/elektronický podpis  
zástupce odborného útvaru státní správy

Souhlas ředitele Odboru precizního zemědělství, výzkumu a vzdělávání MZe ČR:  
V ..... dne .....

.....  
podpis/elektronický podpis  
ředitele/ředitelky  
Odboru precizního zemědělství,  
výzkumu a vzdělávání

### Signatures

The following people have digitally counter-signed this document.

Signed by Ing. Daniel Jurečka 39e4687f2f8bcf6c78f69d1c6074a8053679957d

Signature validity is unknown:

Time: 2023.06.20 12:16:38 +02'00'

## Metodika pro praxi – Potopová a kol. 2023



### Doložka z konverze dokumentu do listinné podoby – na žádost

Dokument 106522-Modelovani\_dopadu\_sdr.klimat.udalosti.pdf vznikl převedením elektronického dokumentu do listinného dokumentu pod pořadovým číslem 157986388-167236-230621131946. Vzniklý dokument obsahuje odpověď vstupnímu dokumentu. Počet stran dokumentu: 1

Vstupní dokument byl:

podepsán kvalifikovaným elektronickým podpisem. Ověření podpisu 20.06.2023 12:16:00. Podpis byl sledován platným a integrita dokumentu nebyla porušena nebo jinak změněna. Ověření platnosti kvalifikovaného certifikátu pro elektronický podpis bylo provedeno vůči zveřejněnému seznamu zneplatněných certifikátů vydanému k datu 21.06.2023 12:35:53. Údaje o kvalifikovaném elektronickém podpisu: číslo kvalifikovaného certifikátu pro elektronický podpis 01 5A BD 53, který byl vydán kvalifikovaným poskytovatelem služeb vytvářejících důvěru PostSignum Qualified CA 4, Česká pošta, s. p. pro podepisující osobu Ing. Daniel Jurečka, ředitel ústavu, 63135, ÚKZÚZ, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Podpis byl označen platným kvalifikovaným časovým razítkem nebo kvalifikovaným elektronickým časovým razítkem vydaným kvalifikovaným poskytovatelem. Platnost kvalifikovaného časového razítka byla ověřena dne 20.06.2023 12:16:00. Údaje o časovém razítku: 20.06.2023 12:16:00, číslo kvalifikovaného certifikátu pro časové razítko 01 40 72 68, kvalifikovaný poskytovatel: PostSignum Qualified CA 5, Česká pošta, s.p..

Podpis č. 1 není vizualizován v dokumentu.

Konverzi provedl subjekt: Červová Alexandra - notářka, IČ: 01509527

Pracoviště: kancelar

Datum vyhotovení: 21.06.2023

Jméno, příjmení a podpis úředníka: ALEXANDRA ČERVOVÁ

Otisk úředního razítka:



157986388-167236-230621131946

Poznámka:

Konverzí dokumentu se nepotvrzuje správnost a pravdivost údajů obsažených v dokumentu a jejich soulad s právními předpisy. Kontrolu doložky lze provést v centrální evidenci doložek na adrese <https://www.czechpoint.cz/overovaciodlozky>.