

# Cukrová řepa na fenologických mapách

SUGAR BEET ON PHENOLOGICAL MAPS

Aleš Vávra<sup>1</sup>, Lenka Hájková<sup>2</sup>, Věra Kožnarová<sup>3</sup>, Alena Vondráková<sup>1</sup>, Vít Voženílek<sup>1</sup><sup>1</sup>Univerzita Palackého v Olomouci, <sup>2</sup>Český hydrometeorologický ústav a Karlova univerzita,<sup>3</sup>Česká zemědělská univerzita v Praze

Cukrová řepa je díky výkonným geneticky modifikovaným jednoklíčkovým odrůdám (víceméně tolerantních k chorobám a škůdcům) a při výrazném podílu intenzivních pěstitelských technologií bezpochybně nejproduktivnější plodinou mírného zeměpisného pásma (1). Nezanedbatelný je i její výrazný ekologický efekt v zemědělské soustavě (2).

Jako krmnou plodinu zná lidstvo řepu zřejmě již pět tisíc let, jako surovinu pro výrobu cukru daleko kratší dobu – zhruba 200 let. Pokusy pěstovat cukrovou řepu probíhaly v českých zemích již na počátku 19. století. K dynamickému rozvoji cukrovárnictví došlo až ve druhé polovině 19. století a následně ve 20. letech minulého století. Cukrová řepa dosahuje v současnosti více než desetinásobku výnosu cukru oproti počátku pěstování. Přesto je dnes perspektiva dalšího (případně rozšířeného) pěstování předmětem mnoha diskusí a studií (2). Velmi aktuální jsou úvahy o možnostech alternativního využívání cukrovky, kdy vyprodukovaný cukr a vedlejší produkty jsou cennou obnovitelnou surovinou pro potravinářský a fermentační průmysl, pro produkci pohonných látek (ethanol), ale i pro malotonážní chemii (1). Podmínkou je optimalizace pěstitelské technologie pro nezbytné zajištění základní suroviny ve vhodných oblastech České republiky.

Příspěvek nově představuje geostatické vyhodnocení fenologického pozorování řepy cukrovky na území České republiky v letech 1991–2010 ve formě tematických map. V prostředí geografických informačních systémů (GIS) byla zpracována data fenologického pozorování a sestaveny tematické mapy nástupu fenofází cukrové řepy, které mohou společně s klimatickými daty sloužit jako vhodný podklad pro sledování trendu vývoje jejich vegetačních fází.

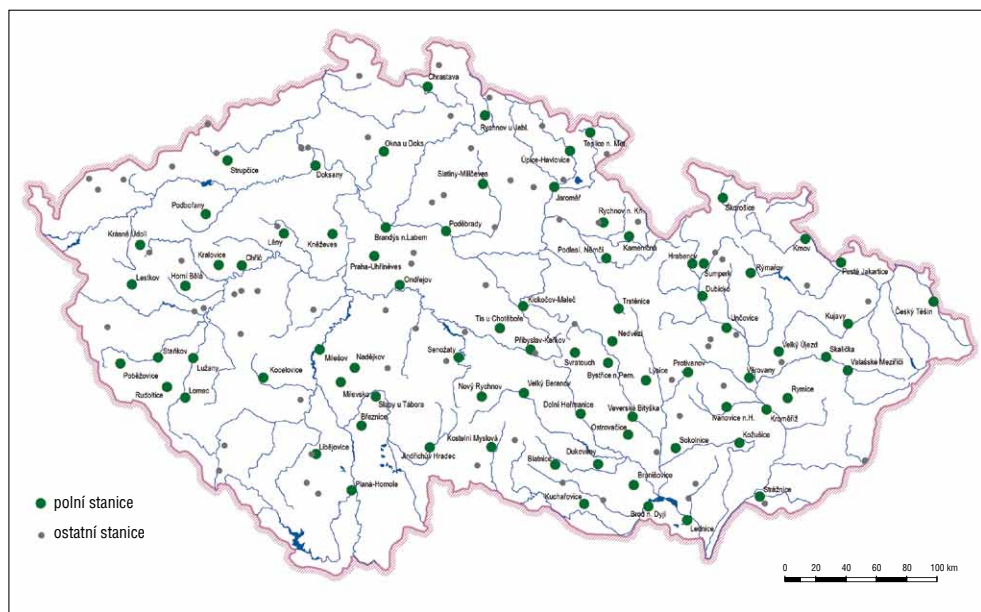
## Fenologické mapy

Klimatické podmínky území a požadavky kultur na podnebí jsou významnými faktory při zkoumání agroklimatických podmínek území. K jejich studiu lze využít fenologické údaje, které zachycují životní projevy rostlin a živočichů v široké souvislosti s počasím a podnebím s akcentem na víceméně pravidelně se opakující periodické jevy během roku (3, 4). Fenologické fáze představují biologické hranice, v nichž se zkoumají požadavky rostlin na podmínky vnějšího prostředí (5). Mají značný význam při modelování a prognózování výnosů, plánování technologických opatření, signalizaci chorob a škůdců apod.

Jeden z prvních materiálů, zahrnující prostorové rozložení vybraných fenofází, byl Atlas podnebí Československé republiky (6) vydaný v roce 1958. Obsahuje (mimo klimatologických map) soubor 12 fenologických map pro celé území Československa: počátek jarních polních prací, počátek setí jarního ječmene, ovsu a ozimého žita, počátek sázení pozdních brambor, počátek senoseče, počátek žní ozimého žita a jarního ječmene, rozkvět ozimého žita. Mapy jsou sestaveny z dat za období 1924 až 1940 z fenologických stanic, jejichž počet nebyl po celé období stejný a pohyboval se od 570 do 1 120. Měřítko všech map je 1 : 1 000 000.

Výzkumná studie Agroklimatické podmínky ČSSR (5)

Obr. 1. Staniční síť fenologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu (14) – polní a ostatní stanice (stav k 31. 12. 2010)



z roku 1975 obsahuje výsledky měření a pozorování v období 1931 až 1960. Mapová část obsahuje fenologické mapy počátku setí ječmene jarního a setí, metání i počátek sklizně ozimého žita. Mapy jsou doplněny nomogramy nástupu sledovaných fenofází. Informace o fenofázích cukrové řepy (setí, vzcházení a sklizeň) jsou uvedeny pouze v tabulkové části. Vycházejí z fenologického pozorování na 50 stanicích na území České republiky (tab. I.) a 47 na Slovensku v období 1956 až 1970.

Atlas podnebí Česka (7) z roku 2007 obsahuje kartografické zpracování vybraných fenologických charakteristik za období 1961 až 2000 z 85 polních fenologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) v rastru o prostorovém rozlišení 500 m. Ze zemědělských plodin byly zařazeny do oddílu 8 „Fenologické charakteristiky“ ječmen jarní a pšenice ozimá. V mapách měřítko 1 : 2 000 000 byly plošně vyjádřeny fenofáze vzcházení, metání a plná zralost. Fenologické fáze cukrové řepy nebyly do Atlasu zařazeny.

Nejnovějším zdrojem fenologických informací je Atlas fenologických poměrů Česka (8) z roku 2012, ve kterém jsou kartograficky a graficky vyjádřeny výsledky fenologického výzkumu z 83 fenologických stanic ČHMÚ v období 1991 až 2010. Mapy zobrazují území celé České republiky, tzn. vyjadřují potenciálně možné extrapolované hodnoty vně oblastí současného výskytu jednotlivých rostlin. Ve sledovaném období fenologickou sít na území České republiky tvořily tři typy stanic pro polní plodiny, ovocné dřeviny a lesní rostliny (obr. 1.). Údaje byly získány převážně dobrovolnými pozorovateli, kteří ve dvoudenních intervalech zaznamenávali ve vegetačním období na tzv. pokusných plochách nástupy fenofází podle metodických pokynů ČHMÚ č. 2, 3 a 10 (9, 10 a 11). Údaje byly zasílány jednou týdně (od 10. do 49. týdne roku) do ČHMÚ. Zde byla data zkontrolována a importována do aplikace Oracle Fenodata.

Databáze fenologických charakteristik získaných v tomto období je velmi rozsáhlá. Na stanicích polních plodin byly sledovány: pšenice ozimá, ječmen jarní, žito seté, oves setý, kukuřice setá, brukev řepka, řepa krmná, lilek brambor, mák setý a chmel otáčivý, které jsou v Atlase fenologických poměrů Česka zpracovány. Některé plodiny nejsou v Atlase uvedeny, přestože jejich fenofáze byly na vybraných fenologických stanicích zaznamenávány – pšenice jarní, ječmen ozimý, cukrová řepa, bob obecný, hrách setý, fazol obecný, len setý, vojtěška setá a jetel luční.

S ohledem na skutečnost, že k 31. 12. 2012 byla rozhodnutím vedení ČHMÚ v rámci úsporných opatření ukončena činnost všech polních fenologických stanic ČHMÚ, představují

Tab. I. Průměrné hodnoty data nástupu jednotlivých fenologických fází cukrové řepy na území Česka (1956–1970)

| Stanice        | Setí    | Vzcházení | Sklizeň | Stanice          | Setí    | Vzcházení | Sklizeň |
|----------------|---------|-----------|---------|------------------|---------|-----------|---------|
| Bakov nad Jiz. | 16. IV. | 1. V.     | 6. X.   | Libochovice      | 19. IV. | 2. V.     | 17. X.  |
| Bánov          | 18. IV. | 2. V.     | 14. X.  | Lomec            | 21. IV. | 9. V.     | 19. X.  |
| Blažovice      | 11. IV. | 26. IV.   | 10. X.  | Loštice          | 20. IV. | 4. V.     | 10. X.  |
| Bučovice       | 12. IV. | 29. IV.   | 8. X.   | Modřišice        | 18. IV. | 2. V.     | 7. X.   |
| Čejkovice      | 17. IV. | 1. V.     | 16. X.  | Napajedla        | 15. IV. | 30. IV.   | 8. X.   |
| Černá Hora     | 22. IV. | 5. V.     | 7. X.   | Násedlovice      | 16. IV. | 30. IV.   | 15. X.  |
| Česká Třebová  | 20. IV. | 16. V.    | 16. X.  | N. Ves pod Pleší | 18. IV. | 3. V.     | 13. X.  |
| Dlouhá Ves     | 14. IV. | 1. V.     | 5. X.   | Plumlov          | 28. IV. | 13. V.    | 11. X.  |
| Dobrovice      | 12. IV. | 29. IV.   | 5. X.   | Polešovice       | 16. IV. | 29. IV.   | 15. X.  |
| Dolní Rověň    | 7. IV.  | 23. IV.   | 3. X.   | Protivín         | 16. IV. | 6. V.     | 15. X.  |
| Domažlice      | 17. IV. | 4. V.     | 11. X.  | Přerov           | 13. IV. | 1. V.     | 5. X.   |
| Dražeň         | 24. IV. | 12. V.    | 18. X.  | Rajhrad          | 14. IV. | 1. V.     | 10. X.  |
| Držovice       | 13. IV. | 28. IV.   | 2. X.   | Rodov            | 12. IV. | 26. IV.   | 5. X.   |
| Hlavenec       | 12. IV. | 26. IV.   | 11. X.  | Sedlčany         | 18. IV. | 6. V.     | 13. X.  |
| Jedloměřice    | 18. IV. | 8. V.     | 13. X.  | Skupice          | 17. IV. | 2. V.     | 6. X.   |
| Jirkov         | 19. IV. | 3. V.     | 6. X.   | Slabčice         | 18. IV. | 12. V.    | 13. X.  |
| Klenice        | 16. IV. | 30. IV.   | 5. X.   | Smědčice         | 15. IV. | 2. V.     | 9. X.   |
| Kochánky       | 16. IV. | 1. V.     | 5. X.   | Střednice        | 16. IV. | 4. V.     | 7. X.   |
| Kouřim         | 14. IV. | 29. IV.   | 9. X.   | Štípa            | 17. IV. | 6. V.     | 6. X.   |
| Kožlany        | 21. IV. | 6. V.     | 23. X.  | Tvarožná Lhota   | 9. IV.  | 26. IV.   | 7. X.   |
| Kratonohy      | 17. IV. | 30. IV.   | 27. X.  | Týnec            | 17. IV. | 1. V.     | 13. X.  |
| Kutná hora     | 18. IV. | 6. V.     | 6. X.   | Vanovice         | 20. IV. | 8. V.     | 8. X.   |
| Lány           | 21. IV. | 5. V.     | 11. X.  | Vysoké Mýto      | 18. IV. | 5. V.     | 8. X.   |
| Lanškroun      | 10. IV. | 27. IV.   | 15. X.  | Zásmuky          | 19. IV. | 6. V.     | 7. X.   |
| Libáň          | 14. IV. | 29. IV.   | 4. X.   | Zelené           | 21. IV. | 13. V.    | 19. X.  |

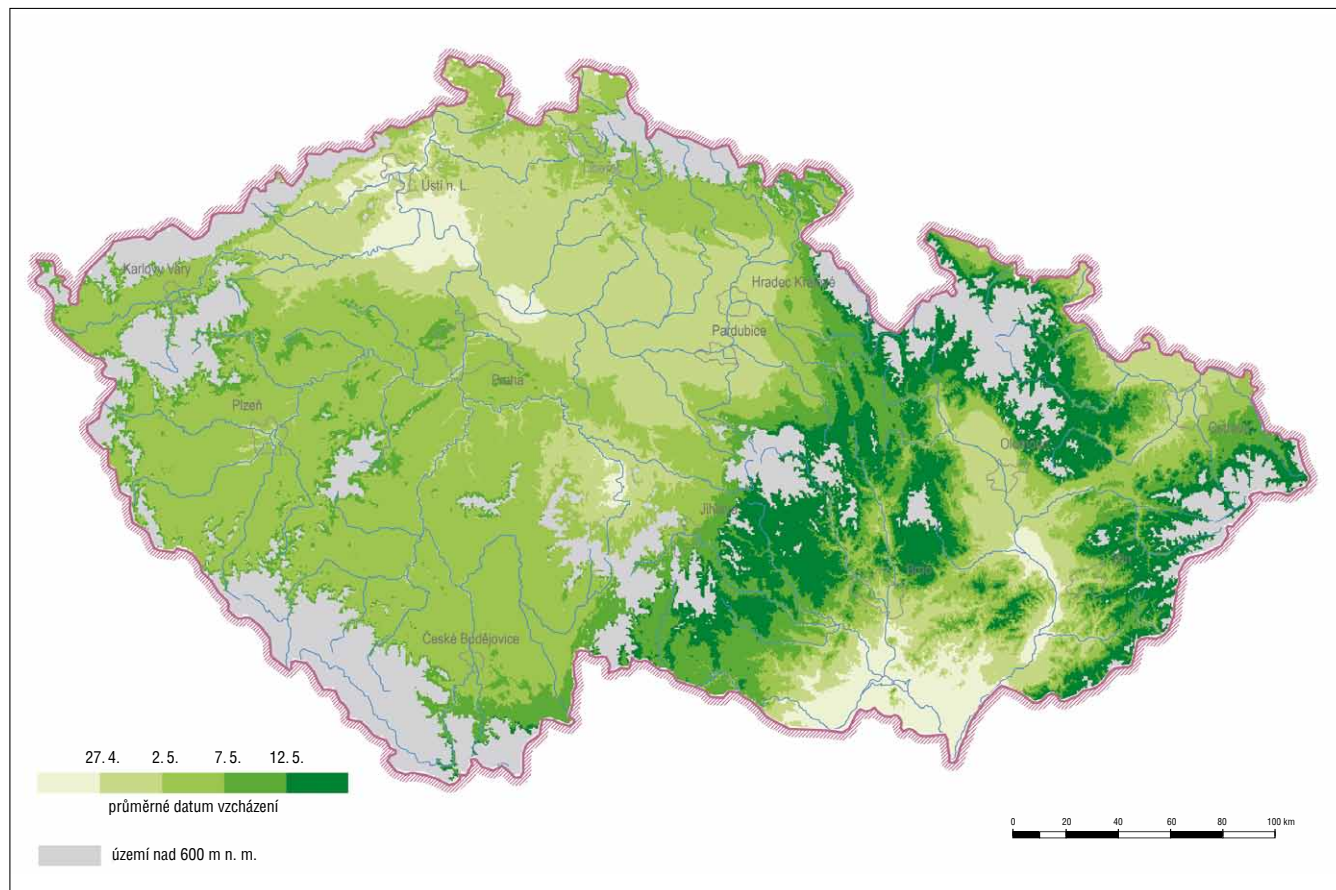
shromážděná data o fenologických fázích cukrové řepy na území České republiky do roku 2012 jediný podklad pro další odborné studie.

### Mapy fenologických fází cukrovky

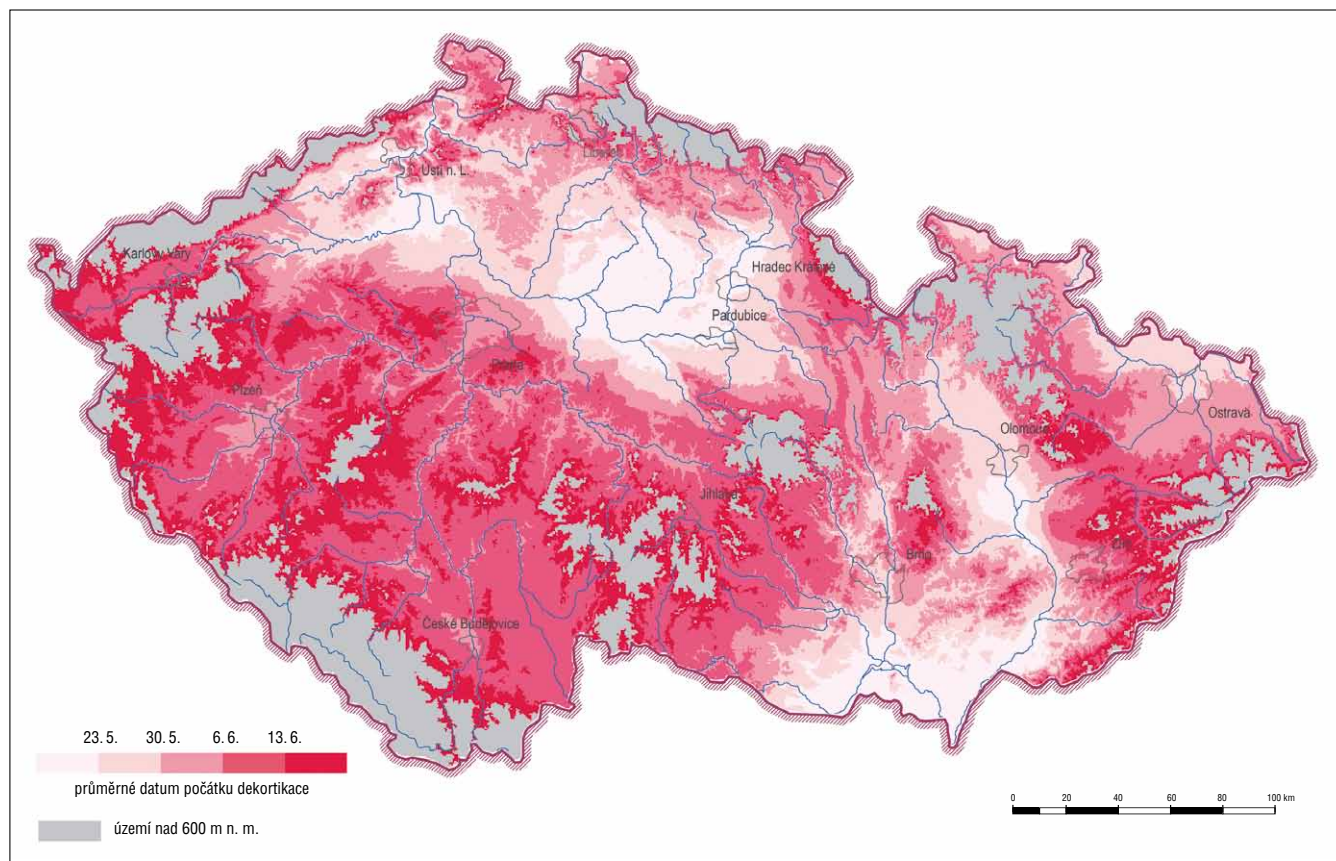
Cukrová řepa byla jednou z polních plodin sledovaných v rámci fenologické sítě ČHMÚ; v období 1991–2010 byla pozorována na 32 fenologických stanicích. Stanice se nacházely v nadmořské výšce od 155 m (Doksany, 50°27' N, 14°10' E) po 480 m (Slapy u Tábora, 49°23' N, 14°37' E). Pozorování fenologických fází probíhalo podle jednotné metodiky (9) popisující fenofáze:

- *Setí* (není přímo fenologickou fází, ale je prvním datem pro zpracování trvání fenologické fáze vzcházení).
- *Vzcházení*: nad povrch půdy pronikne hypokotyl nesoucí na svém k zemi ohnutém vrcholu dva děložní lístky. V době vzcházení jsou děložní lístky k sobě ještě přitisknuty. Vzcházení nastupuje v době, kdy je již řádkování vzcházejících rostlin zřetelně patrné (na podílu pokusné plochy 10 % a více).

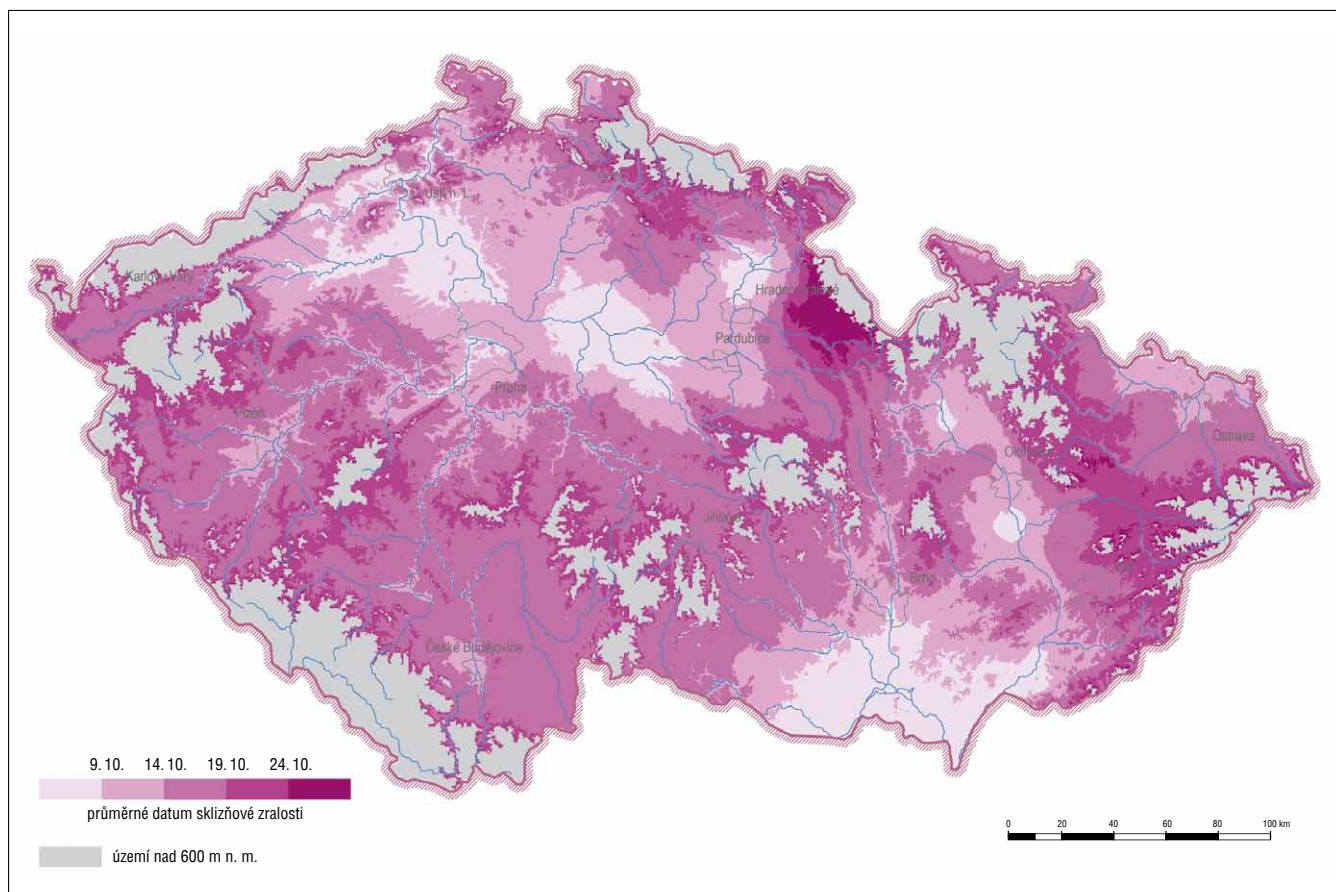
Obr. 2. Průměrné datum vzcházení cukrovky na území České republiky do nadmořské výšky 600 metrů za období 1991–2010



Obr. 3. Průměrné datum počátku dekortikace cukrovky na území České republiky do nadmořské výšky 600 m za období 1991–2010



Obr. 4. Průměrné datum sklizňové zralosti cukrovky na území České republiky do nadmořské výšky 600 metrů za období 1991–2010



- *Počátek dekortikace*: vznik prvních viditelných trhlinek na povrchu horní, ze země vyčnívající části bulvy. Bývá to v době, kdy rostlina vytvořila třetí až čtvrtý pravý list. Fenofáze nastupuje, jakmile je uvedený stav zjištěn zhruba na polovině z celkového počtu rostlin.
- *Sklizňová zralost*: z celkového počtu listů v listové růžici je polovina až dvě třetiny listů odumřelých. Fenofáze nastupuje, jakmile uvedenému popisu odpovídá zhruba polovina z celkového počtu rostlin.

Fenologické mapy cukrovky vznikly v prostředí geografických informačních systémů a byly vypracovány pomocí prostorových statistických metod (12). Z pozorování zjištěných fenologických údajů byla interpolačními metodami a algoritmy prostorové statistiky vytvořena rastrová vrstva průměrného nástupu vybrané fenofáze cukrové řepy pro území celé ČR. Tento přístup je založen na lokální lineární regresi mezi naměřenou hodnotou (průměrné datum nástupu vybrané fenofáze za období 1991 až 2010) a digitálním modelem reliéfu (8). Pro výpočet rastrového modelu byla použita metoda Clidata-DEM s prostorovým rozlišením 500 m a regresním poloměrem 40 km. Vypočtený rastr byl použit jako základ pro sestavení fenologické mapy.

Pro každou fenologickou fázi byla vytvořena jedna tematická mapa. V každé mapě byly hodnoty data nástupu znázorňované fenofáze rozděleny do pětidenních intervalů stanovených ve spolupráci fenologů a kartografů s cílem co nejobektivnějšího rozdělení hodnot do intervalové stupnice a správné interpretace mapy. Všechny mapy byly vytvořeny v měřítku 1 : 2 000 000 (pro účely článku je měřítko upraveno), které je vhodné pro

vyjádření fenologických údajů v příslušném rozlišení vstupního rastru. Mapy jsou vytvořeny v kartografickém zobrazení UTM v souřadnicovém systému WGS84 (Zone 33N), jsou snadno

Tab. II. Průměrné hodnoty nástupu fenologických fází cukrové řepy na území ČR (1991–2010)

| Stanice             | Setí    | Vzcházení | Sklizňová zralost |
|---------------------|---------|-----------|-------------------|
| Doksany             | 12. IV. | 20. IV.   | 1. X.             |
| Brod nad Dyjí       | 12. IV. | 17. IV.   | 30. IX.           |
| Strážnice           | 10. IV. | 28. IV.   | 4. X.             |
| Poděbrady           | 12. IV. | 29. IV.   | 29. IX.           |
| Kroměříž            | 10. IV. | 25. IV.   | 9. X.             |
| Ivanovice           | 12. IV. | 30. IV.   | 10. X.            |
| Slatiny             | 12. IV. | 1. V.     | 15. X.            |
| Jaroměř             | 14. IV. | 19. IV.   | 4. X.             |
| Praha, Uhřetěves    | 12. IV. | 5. V.     | 7. X.             |
| Rychnov nad Kněžnou | 15. IV. | 6. V.     | 23. X.            |
| Dubicko             | 14. IV. | 6. V.     | 6. X.             |
| Lysice              | 16. IV. | 3. V.     | 9. X.             |
| Krnov               | 16. IV. | 5. V.     | 14. X.            |
| Tis u Chotěboře     | 11. IV. | 2. V.     | 12. X.            |

čitelné a prakticky využitelné. Topografický podklad pro mapy tvoří krajská města (zakreslena plošně), vybraná města nad 30 tis. obyvatel (zakreslena bodově), generalizovaná říční síť a největší vodní plochy. Tyto prvky plní v mapě lokalizační a topologickou funkci (13).

Geovizualizací rastrové vrstvy vznikly tematické mapy zobrazující průměrné datum nástupů vybraných fenofází vyjádřené barevnou intervalovou stupnicí. Tato kartografická vyjadřovací metoda je vhodná zejména při vizualizaci spojených jevů a při správném stanovení barevné stupnice a zachování kartografických pravidel (14) je velmi názorná. Mapy zobrazují území celé ČR do nadmořské výšky 600 metrů a zároveň vyjadřují potenciálně možné extrapolované hodnoty vně oblastí současného pěstování řepy cukrovky, např. na lesních a vodních plochách či zastavěných územích. Výsledky fenologického výzkumu obsažené v mapách (obr. 2., 3., a 4.) jsou jedinečným dokladem územní diferenciací fenologických charakteristik řepy cukrovky, které nebyly doposud pro území České republiky publikovány.

Fenologická fáze „vzcházení“ (obr. 2.) nastupuje v průměru mezi 16. dubnem a 15. květnem (106. a 135. dnem). Nejdříve začíná cukrová řepa vzcházet na jižní Moravě v oblasti Dyjsko-svrateckého úvalu, na Břeclavsku a v Dolnomoravském úvalu, v Čechách pak na Litoměřicku a v okolí Čelákovic. V ostatních částech Polabí je přirozený nástup vzcházení zpožděn průměrně o pět dní, stejně tak je zpožděn v Hornomoravském úvalu.

Fenologická fáze „sklizňová zralost“ nastupuje v průměru mezi 29. zářím a 24. říjnem (272. a 297. dnem). Nejdříve nastává v oblasti Podyjí, na dolním toku řeky Moravy, ve středním Polabí, dolním Poohří, severně od Hradce Králové nebo na Kroměřížsku (obr. 4.). Opožděné nástupy sledované fenofáze jsou například na Vysočině, v oblasti Moravské brány nebo na Českobudějovicku.

Grafický výstup mapového charakteru doplňují údaje průměrných dat nástupů fenologických fází vzcházení a sklizňová zralost včetně setí (tab. II.) z vybraných 14 fenologických stanic.

### Závěr

Vliv stanoviště na růst a vývoj cukrové řepy je určen stálými vlastnostmi půdy a klimatu a jejich interakcí. Variabilita jednotlivých roků se odráží v povětrnostních podmínkách vegetačního období, které přímo ovlivňují růst rostlin, ale také určují na datum setí a sklizně, a tak i zkracují nebo prodlužují trvání vegetačního období.

Nově sestavené mapy zobrazují průměrný časový nástup fenologických fází cukrové řepy, kdy primární data byla získána na fenologických stanicích ČHMÚ podle jednotné metodiky a pěstování cukrovky bez zásahů směřujících ke zvýšení produkce. I přes tuto skutečnost je jejich využití vhodnou pomůckou pro odhad průběhu vegetačního období. Studium dlouhých časových řad charakterizujících nástup fenologických fází lze využít v praxi např. pro optimalizaci agrotechnických postupů, postřiků, organizaci sklizně atd.

Kromě toho jsou tyto mapy historicky prvním pokusem charakterizovat vztah počasí, podnebí, půdy, geografických podmínek a jednotné metodiky pěstování cukrové řepy prostřednictvím nástupu fenologické fáze na území Česka.

*Tento příspěvek byl vytvořen za podpory S grantu MŠMT ČR a grantů SVV-2011-263202, OC09029 a OP CZ.1.07/2.3.00/20.0170.*

### Souhrn

V rámci fenologických pozorování Českého hydrometeorologického ústavu byla zaměřena pozornost na vybrané fenologické fáze cukrové řepy (vzcházení, počátek dekortikace a sklizňová zralost). Průměrná data nástupu za období 1991–2010 byla zpracována v prostředí geografických informačních systémů a výsledky vyjádřeny v tematických mapách jako vhodný vědecký podklad pro sledování trendu vývoje vegetačních fází cukrovky.

**Klíčová slova:** cukrová řepa, fenologie, vzcházení, počátek dekortikace, geografické informační systémy, fenologické mapy.

### Literatura

- BUBNÍK, Z. ET AL.: Zaměření výzkumu pro využití sacharosy k nepotravinářským účelům v ČR. *Listy cukrov. řepář.*, 125, 2009 (1), s. 28–33.
- PULKRÁBEK, J. ET AL.: Pěstování cukrové řepy a její vliv na životní prostředí. *Listy cukrov. řepář.*, 127, 2011 (2), s. 57–62.
- KOŽNAROVÁ, V. ET AL.: Historie a současnost fenologie v České republice. In *Vybrané kapitoly z fyziologie rostlin zemědělského výzkumu*. Praha: VÚRV, 2012, s. 13–39, ISBN: 978-80-904351-5-5.
- HÁJKOVÁ, L. ET AL.: Chapter 5: Phenological Observation in the Czech Republic – History and Present. In XIAOYANG ZHANG (Ed.): *Phenology and Climate Change*. s. 71–101, ISBN: 978-953-51-0336-3.
- KURPEL'OVÁ, M.; COUFAL, L.; ČULÍK, J.: *Agroklimatické podmienky ČSSR*. Bratislava: Příroda, 1975, 270 s. + mapová příloha.
- Atlas podnebí československé republiky*. Praha: ÚSGK, 1958, 113 s.
- TOLASZ, R. ET AL.: *Atlas podnebí Česka*. Praha a Olomouc: ČHMÚ, 2007, 255 s., ISBN: 978-80-86690-26-1.
- HÁJKOVÁ, L.; VOŽENÍLEK, V.; TOLASZ, R.: *Atlas fenologických poměrů Česka*. Praha a Olomouc: ČHMÚ a UP v Olomouci, 2012, 310 s., ISBN: 978-80-86690-98-8.
- Metodický předpis č. 2: Návod pro činnost fenologických stanic – polní plodiny*. Praha: ČHMÚ, 2009, 84 s.
- Metodický předpis č. 3: Návod pro činnost fenologických stanic – ovocné plodiny*. Praha: ČHMÚ, 2009, 90 s.
- Metodický předpis č. 10: Návod pro činnost fenologických stanic – lesní rostliny*. Praha: ČHMÚ, 2009, 74 s.
- VONDRÁKOVÁ, A.; VÁVRA, A.; VOŽENÍLEK, V.: Climatic Regions of the Czech Republic. *Journal of Maps*, 9, 2013 (3), s. 425–430.
- TUČEK, P.; PÁSZTO, V.; VOŽENÍLEK, V.: Regular use of entropy for studying dissimilar geographical phenomena. *Geografie*, 114, 2009 (2), s. 117–129.
- BRUS, J. ET AL.: Design of Intelligent System in Cartography. In *9<sup>th</sup> Roedunet Ieee International Conference*. 2010, s. 112–117.

### Vávra A., Hájková L., Kožnarová V., Vondráková A., Voženílek V.: Sugar Beet on Phenological Maps

The phenological observations of the Czech Hydrometeorological Institute focused on the selected phenological phases of sugar beet (emergence, beginning of decortication and technical harvest). The average dates of phenophase onset during the period 1991–2010 were processed in the geographic information systems and the results were recorded in thematic maps as a suitable basis for monitoring the trend of vegetative stages development of sugar beet.

**Key words:** sugar beet, phenology, emergence, decortication, geographic information systems, phenological maps.

### Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Věra Kožnarová, CSc., Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 Suchbát, Česká republika, e-mail: koznarova@af.czu.cz