

**ANALYSIS OF THE CLIMATE CHANGE IN SLOVENIA: CHANGES IN PLANT DEVELOPMENT UNDER THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL PARAMETERS IN THE PERIOD 1961-2011 (PART II)**

DRAGAN MILOŠEVIĆ<sup>1\*</sup>, IGOR ŽIBERNA<sup>2</sup>, STEVAN SAVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Geography, Tourism and Hotel Management, Faculty of Science, University of Novi Sad; Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Republic of Serbia

<sup>2</sup>University of Maribor, Faculty of Arts, Department of Geography, Koroška cesta 160, Maribor, Republic of Slovenia

<sup>3</sup>Climatology and Hydrology Research Centre, Faculty of Science, University of Novi Sad; Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Republic of Serbia

**Summary:** In this paper spring and autumn temperature thresholds of 5°C and 10°C, active air temperature sums and lengths of growing seasons with temperature threshold of 5°C and 10°C were analyzed. The analysis were made for 10 meteorological stations for the period 1961-2011. The dates of occurrence of phenological phases of selected plants (oxeye daisy, beech, apple, winter wheat and maize) has been investigated. It was observed a tendency of earlier appearance of spring phenological phases and later appearance of autumn phenological phases. As a result extension of vegetation periods in the Republic of Slovenia is present. Dates with occurrence of phenological phases of selected plants from 8 phenological stations were connected with the results of the analysis of meteorological parameters from 8 meteorological stations. The highest correlation coefficients were obtained for the temperature parameters (0.8), while the average precipitation quantities, number of days with frost, potential evapotranspiration and water balance showed a low correlation coefficient values with the appearance of phenological phases.

**Key words:** phenophases, climate change, the correlation coefficient, the Republic of Slovenia

### Introduction

The consequences of climate change generally have a negative impact on human society, causing damage that is expressed in billions of €. On our planet now lives more than 7 billion people but the food is more expensive due to the adverse effects of climate change (droughts, floods, heat, frost, etc.) that reduce the amount and quality of yield.

Plant phenology is the study of plant development stages appearances (sprouting, leafing, budding, tillering, flowering, ripening, etc.), or so-called phenological phases-phenophases. Average or common beginnings and duration of phenological phases at some place reflect the climate that rules there. The plants are so dependent on the climate that spatial distribution of phenological phases beginnings show climate differences within the studied region, state, etc. (Penzar i Penzar, 1985).

Meteorological parameters, such as temperature and precipitation are very important to the life and development of plants. This is why the changes in these parameters have a great impact on plant development. However, the plants have integral response not

---

\* e-mail: draganmilosevic88@yahoo.com

only to changes of climate, but also to changes of pedological, geological and other elements.

Since the end of the '80s the need for phenological data has increased significantly and with it the number of scientists who analyze this data. This is caused by rising temperatures in recent decades and a clear response of plants to these changes which is seen in phenological data. The impact of climate on plants was investigated by scientists in Slovenia (Kajfež-Bogataj in Črepinšek, 2003; Bergant in sod., 2004; Črepinšek in Zrnec, 2005) and other European countries (Ahas et al, 2000; Alexandrov and Hoogenboom, 2000; Menzel, 2000; Roetzer et al., 2000; Sparks et al., 2001; Fitter and Fitter, 2002; Menzel, 2003). On other continents these studies are also present (Robeson, 2002; Atrri and Rathore, 2003; Zhang et al., 2004; McCabe et al., 2011).

The aim of this study is to define the spatial and temporal characteristics and trends of selected phenological parameters on the territory of the Republic of Slovenia. Comparing obtained results and results of other researchers has been made to see whether the changes in the Republic of Slovenia are in accordance with phenological changes on the European continent, on global level or are there relevant regional differences. Data about meteorological parameters has been associated with phenological data to detect the intensity of climate impacts on vegetation.

### **Locations of phenological stations, database and research methodology**

In this paper data has been used from 10 meteorological and 8 phenological stations located on the territory of the Republic of Slovenia (figure 1, table 1). Data was analyzed for the period 1961-2011. The variables were calculated based on the values that have been obtained from Slovenian Environment Agency (ARSO). Meteorological and phenological data are recorded in the same settlement for better correlation in the analysis. The exceptions are the stations Kredarica and Lendava where phenological data was not recorded.

Selected phenological stations are located on the territory of different physical regions of Slovenia. In alpine macroregion phenological stations Šmartno pri Slovenj Gradcu and Celje are located. The dinaric macroregion consists of phenological stations located in Postojna, Ljubljana-Bežigrad and Novo Mesto. In subpannonian macroregion stations Maribor-Tabor and MurskaSobota-Rakičan are located. The smallest macroregion is the submediterranean and within it is station Bilje. The relative height difference between the highest (Kredarica, 2514 m above sea level) and the lowest meteorological station (Bilje, 55 m above sea level) is 2459 m, while seven of ten investigated stations are located at an altitude between 188 and 455 m. Only the station in Postojna (533 m above sea level) is characterized by higher altitude.

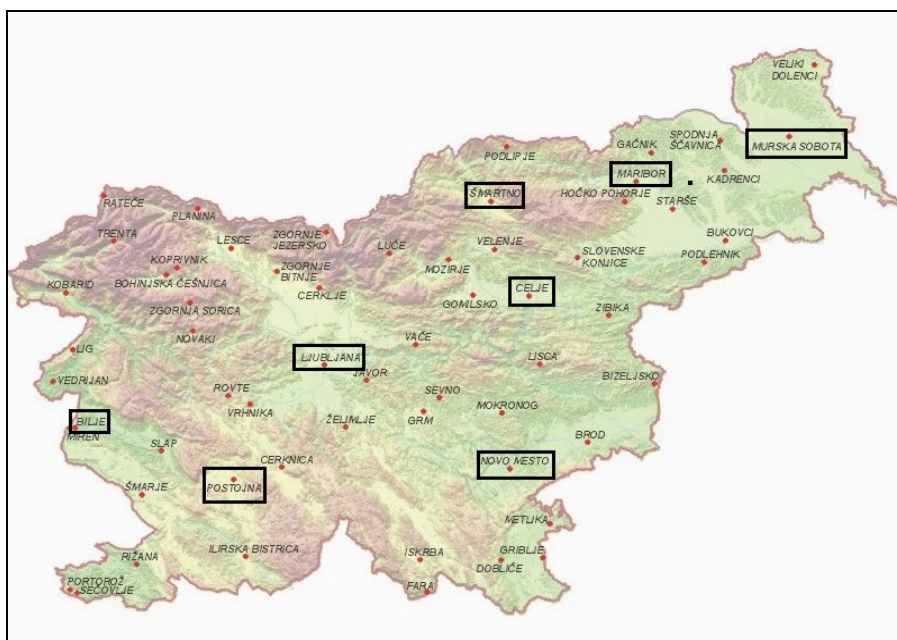
This paper presents an analysis of the spring and autumn temperature thresholds of 5°C and 10°C and duration of the corresponding growing seasons from 10 meteorological stations for the period 1961-2011. Correlation coefficients have been calculated for the connection between studied climatic parameters and the occurrence of phenological phases from 8 meteorological and phenological stations.

Phenological phases were analyzed for the following plants: oxeye daisy (phenophase-first flowers), beech (phenophases: first leaves, general yellowing of leaves and general falling of leaves), apple (phenophases: first leaves, beginning of flowering, general flowering, end of flowering, beginning of ripening, picking, general yellowing of leaves and general falling of leaves), winter wheat (sowing and harvesting) and maize (sowing and harvesting). When choosing plants for the analysis of phenological phases different plant species were selected. Oxeye daisy (*Leucanthemum vulgare Lam.*) is a wild herbaceous plant, beech (*Fagus sylvatica L.*) belongs to the forest trees, apple (*Malus*

*domestica Borkh.*) belongs to fruit and winter wheat (*Triticum aestivum L.*) and maize (*Zea mays L.*) are representatives of crops.

**Table 1. Geographical coordinates, altitude, period of observation and type of meteorological stations in Slovenia (gl-main weather station, kl-climate station); \*- phenological stations (source: ARSO, 2012)**

Stations	$\varphi^{\circ}\text{N}$	$\lambda^{\circ}\text{E}$	altitude (m)	period of observation	type
Kredarica (KR)	46°23'	13°51'	2514	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Postojna* (PO)	45°46'	14°12'	533	01.01.1961-31.12.2011.	kl
Ljubljana -Bežigrad* (LJB)	46°04'	14°31'	299	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Novo Mesto* (NM)	45°48'	15°11'	220	01.01.1961-31.12.2011.	gl
CeljeЦельє* (CLJ)	46°15'	15°15'	244	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Maribor-Tabor* (MB)	46°32'	15°39'	275	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Šmartno pri Slovenj Gradcu* (ŠS)	46°29'	15°07'	455	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Murska Sobota-Rakičan* (MS)	46°39'	16°11'	188	01.01.1961-31.12.2011.	gl
Bilje* (BLJ)	45°54'	13°38'	55	01.01.1963-31.12.2011.	gl
Lendava (LD)	46°34'	16°28'	195	01.01.1961-31.12.2011.	kl



**Figure 1. Locations of phenological stations on the territory of the Republic of Slovenia (black rectangle-selected phenological stations) (source: ARSO, 2007)**

In this paper following methods of data processing are used: the correlation coefficient (Pearson correlation coefficient) and the methods for determining the temperature thresholds of 5°C and 10°C.

Spring temperature threshold is determined by the formula:

$$D = \frac{T_{pr} - T_{pod}}{T_{nad} - T_{pod}} \times A$$

Where:

D- number of days to be added to the middle day of the month prior to the temperature threshold,

T<sub>pr</sub>- temperature threshold (5°C or 10°C),

T<sub>pod</sub>- average monthly air temperature before temperature threshold appearance,

T<sub>nad</sub>- average monthly air temperature after temperature threshold appearance and

A- number of days between the middle days in both months (usually 30 or 31).

Autumn temperature threshold is determined by the formula:

$$D = \frac{T_{nad} - T_r}{T_{nad} - T_{pod}} \times A$$

Where:

D- number of days to be added to the middle day of the month prior to the temperature threshold,

T<sub>pr</sub>- temperature threshold (5°C or 10°C),

T<sub>pod</sub>- average monthly air temperature before temperature threshold appearance,

T<sub>nad</sub>- average monthly air temperature after temperature threshold appearance and

A- number of days between the middle days in both months (usually 30 or 31).

## Results and discussion

The analysis of the appearance of spring and autumn temperature thresholds, active air temperatures sums and length of growing season determined with temperature threshold of 5°C has been made. Temperature threshold of 5°C is particularly important for germination of grains (winter wheat, barley, oat, rye) as it is the biological minimum when the growth of plants begins.

Based on the data in table 2 it can be seen that the spring temperature threshold (5°C) first occurs at stations: BLJ (February 17), LD (March 5), LJB (March 6) and MB (March 7), and last at: ŠS (March 23), PO (March 20) and CLJ (March 12). Autumn temperature threshold (5°C) appears first at stations: ŠS (November 6), MS (November 13), PO and CLJ (November 14), while it occurs last at stations: LD, LJB (November 17) and NM (November 16). The highest sums of active air temperatures have stations: BLJ (4226°C), LD (3686°C), LJB (3671°C) and MB (3610°C) and lowest: ŠS (3008°C), PO (3085°C) and CLJ (3441°C). Growing season (5°C) lasts longest on station BLJ (293 days) and shortest at ŠS (229 days) giving a difference of almost a month. Long vegetation period is characteristic for stations: LD (258 days), LJB (257 days), MB (254 days) and NM (253 days).

The trends of spring and autumn temperature thresholds, length of growing season and the sum of active air temperatures (5°C) were analyzed and obtained results are presented in table 3.

At all stations are present negative trends of spring temperature thresholds (5°C). This indicates that the spring threshold moves backwards, i.e. plants are starting earlier with development. The highest and statistically most significant trends of spring temperature

threshold occurred at stations: MB and NM (-15 days/51y), LJB (-14 days/51y), PO (-12 days/51y) and ŠS (-11 days/51y). Autumn temperature threshold shows a positive trend at all analyzed stations. The highest and statistically most significant trends were noticed at stations: LJB (10 days/51y) and NM, CLJ and ŠS (9 days/51y). There is a positive trend of sum of active air temperatures at all stations and all trends are statistically significant. The highest increase of the sum of active air temperatures occurred at stations: NM (718°C/51y), LJB (677°C/51y) and MB (660°C/51y). Due to the earlier start and later ending of optimum conditions for plant development extension of growing season occurs. In the analyzed period, growing season is extended at all stations, but the most at the following: NM and LJB (24 days/51y), MB (21 day/51y), PO and ŠS (20 days/51y) and MS (15 days/51y). These trends are statistically significant.

**Table 2. Consecutive day in a year and date with spring (Tp) and autumn (Tj) temperature threshold appearance (5°C), active air temperature sums and the length of the growing season(°C) in Slovenia in the period 1961-2011**

Station	Tp (in. no.)	Tp (date)	Tj (in. no.)	Tj (date)	active air temp. sums (°C)	length (no. day)
PO	79	20. 03.	318	14. 11.	3085	240
LJB	65	06. 03.	321	17. 11.	3671	257
NM	67	08. 03.	320	16. 11.	3540	253
CLJ	71	12. 03.	318	14. 11.	3441	248
MB	66	07. 03.	319	15. 11.	3610	254
ŠS	82	23. 03.	310	06. 11.	3008	229
MS	70	11. 03.	317	13. 11.	3475	248
BLJ	48	17. 02.	340	06. 12.	4226	293
LD	63	05. 03.	321	17. 11.	3686	258

The analysis of the appearance of spring and autumn temperature thresholds, the sum of active temperatures and length of growing season determined with temperature threshold of 10°C has been investigated (table 4). Temperature threshold of 10°C is particularly important for development of maize because it represents a biological minimum when the growth of maize begins (Otošec, 1980).

Spring temperature threshold (10°C) occurs first at stations: BLJ (April 4), LD (April 9) and LJB (April 12), and last at: PO (April 28), ŠS (April 25) and CLJ (April 17). Autumn temperature threshold (10°C) occurs first at stations: ŠS (October 8), PO (October 12) and MS (October 14) while last at stations: BLJ (November 2), LJB (October 19) and LD (October 18). During the growing season active air temperature sums are highest at stations: BLJ (3684°C), LD (3188°C), LJB (3158°C) and MB (3107°C), and smallest at: ŠS (2545°C), PO (2549°C) and CLJ (2939°C).

Growing season (10°C) has the longest duration on station Bilje (205 days) in submediterranean climatic region, and shortest at station Šmartno pri Slovenj Gradcu (167 days) in alpine climatic region in northern Slovenia. Long vegetation period is characteristic for stations located in subpannonian climatic region (Lendava, 193 days) and in big cities (Ljubljana-Bežigrad, 190 days; Maribor-Tabor, 189 days) characterized by higher temperature values due to urban heat island effect. Shorter vegetation period is characteristic

for stations Postojna (168 days) and Celje (182 days) located in temperate continental climatic region of western, respectively central Slovenia.

**Table 3. Trends of spring (Tp) and autumn (Tj) temperature threshold (5°C), active air temperature sums (°C) and length of the growing season in Slovenia in the period 1961-2011; bold<sup>†</sup> - statistical significance of 90%, bold<sup>‡</sup> - statistical significance of 95%, bold<sup>§</sup> - statistical significance of 99% and bold<sup>¶</sup> - statistical significance of 99.9%**

Station	Tp (no. day/51y)	Tj ((no. day/51y)	active air tem. sums (°C/51y)	length (no. day/51y)
PO	<b>-12<sup>†</sup></b>	8	<b>572<sup>¶</sup></b>	<b>20<sup>†</sup></b>
LJB	<b>-14<sup>†</sup></b>	<b>10<sup>†</sup></b>	<b>677<sup>¶</sup></b>	<b>24<sup>§</sup></b>
NM	<b>-15<sup>†</sup></b>	<b>9<sup>†</sup></b>	<b>718<sup>¶</sup></b>	<b>24<sup>§</sup></b>
CLJ	-9	<b>9<sup>†</sup></b>	<b>603<sup>¶</sup></b>	<b>18<sup>†</sup></b>
MB	<b>-15<sup>†</sup></b>	6	<b>660<sup>¶</sup></b>	<b>21<sup>†</sup></b>
ŠS	<b>-11<sup>†</sup></b>	<b>9<sup>†</sup></b>	<b>525<sup>¶</sup></b>	<b>20<sup>§</sup></b>
MS	-8	7	<b>563<sup>¶</sup></b>	<b>15<sup>†</sup></b>
BLJ	-10	4	<b>529<sup>¶</sup></b>	14
LD	-7	5	<b>410<sup>§</sup></b>	12

**Table 4. Consecutive day in a year and date with spring (Tp) and autumn (Tj) temperature threshold appearance (10°C), active air temperature sums and the length of the growing season (°C) in Slovenia in the period 1961-2011**

Station	Tp (in. no.)	Tp (date)	Tj (in. no)	Tj (date)	active air temp. sums (°C)	length (no. day)
PO	118	28. 04.	285	12. 10.	2549	168
LJB	102	12. 04.	292	19. 10.	3158	190
NM	104	14. 04.	289	16. 10.	3032	186
CLJ	107	17. 04.	288	15. 10.	2939	182
MB	103	13. 04.	290	17. 10.	3107	189
ŠS	115	25. 04.	281	08. 10.	2545	167
MS	104	14. 04.	287	14. 10.	2996	183
BLJ	94	04. 04.	306	02. 11.	3684	205
LD	99	09. 04.	291	18. 10.	3188	193

The trends of spring and autumn temperature thresholds (10°C), length of growing season and the sum of active temperatures (10°C) were analyzed and obtained results are presented in table 5.

Data from all investigated stations show statistically significant negative trend of spring temperature threshold which means that plants start earlier with development. Highest negative trends are on stations: NM (-14 days/51y), LJB (-13 days/51y), BLJ and PO (-11 days/51y). Autumn temperature threshold shows positive trend on all stations with highest statistical significance at stations: NM (11 days/51y) and LJB (9 days/51y). Trends of spring phenophases are statistically more important than those of autumn phenophases. Active air temperature sums show statistically significant positive trend on all stations with highest values at: NM (736°C/51y), MB (674°C/51y) and LJB (660°C/51y). Statistically significant positive trend of growing season length is evident on all stations. Growing season was extended the most at stations: NM (25 days/51y), LJB (21 day/51y) and MB (20 days/51y), and least at: LD (11 days/51y) and CLJ, ŠS and MS (17 days/51y).

**Table 5. Trends of spring (Tp) and autumn (Tj) temperature threshold (10°C), active air temperature sums (°C) and length of the growing season in Slovenia in the period 1961-2011; bold<sup>+</sup> - statistical significance of 90%, bold<sup>\*</sup> - statistical significance of 95%, bold<sup>\*\*</sup> - statistical significance of 99% and bold<sup>\*\*\*</sup> - statistical significance of 99.9%**

Station	Tp (no. day/51y)	Tj ((no. day/51y)	active air tem. sums (°C/51y)	length (no. day/51y)
PO	<b>-12<sup>**</sup></b>	6	<b>571<sup>***</sup></b>	<b>18<sup>***</sup></b>
LJB	<b>-13<sup>**</sup></b>	<b>9<sup>*</sup></b>	<b>660<sup>***</sup></b>	<b>21<sup>***</sup></b>
NM	<b>-14<sup>**</sup></b>	<b>11<sup>*</sup></b>	<b>736<sup>***</sup></b>	<b>25<sup>***</sup></b>
CLJ	<b>-11<sup>**</sup></b>	<b>6<sup>+</sup></b>	<b>599<sup>***</sup></b>	<b>17<sup>**</sup></b>
MB	<b>-11<sup>**</sup></b>	<b>8<sup>*</sup></b>	<b>674<sup>***</sup></b>	<b>20<sup>***</sup></b>
ŠS	<b>-10<sup>**</sup></b>	<b>7<sup>+</sup></b>	<b>511<sup>***</sup></b>	<b>17<sup>**</sup></b>
MS	<b>-9<sup>**</sup></b>	<b>8<sup>*</sup></b>	<b>581<sup>***</sup></b>	<b>17<sup>***</sup></b>
BLJ	<b>-12<sup>**</sup></b>	6	<b>533<sup>***</sup></b>	<b>18<sup>*</sup></b>
LD	<b>-6<sup>+</sup></b>	5	<b>400<sup>***</sup></b>	<b>11<sup>*</sup></b>

Analysis of phenological phases appearance of selected plants (oxeye daisy, beech, apple, winter wheat and maize) were made and correlated with obtained results of meteorological parameters analysis made in first part of this paper.

Phenophase first flowers of **oxeye daisy** was investigated. In table 6 are presented analyzed stations, period of observation, average days of phenophase appearance and consecutive days in year that represent the beginning of investigated phenophase. The problem with the data was that some stations did not have data for all years, but still it was tried to present a situation of plant development on the territory of the Republic of Slovenia in the last 51 year.

First flowers of oxeye daisy appeared first in the area with higher air temperature in submediterranean Slovenia (BLJ, May 5), and last at higher altitudes with lower air temperatures in Dinaric Alps Slovenia (PO, May 20). On all stations is present negative trend of the investigated phenophase which means that first flowers of oxeye daisy are developing earlier than before. The highest trend values are for stations located in mountainous regions like ŠS (-11 days/40y), PO (-9 days/50y) and CLJ (-8 days/49y).

**Table 6. Analyzed stations (st.), period of observation, number of years with data, date of appearance of phenophase, consecutive day in a year and trend of phenophase first flower of oxeye daisy (number of days/number of years) in Slovenia; bold<sup>+</sup> - statistical significance of 90%, bold\* - statistical significance of 95%, bold\*\* - statistical significance of 99% and bold\*\*\* - statistical significance of 99.9%**

stations	period	number of years with data	date	consecutive day in a year	trend
PO	1973-2010	35	05. 05.	125	-1
LJB	1961-2009	49	09. 05.	129	<b>-8*</b>
NM	1961-2010	50	10. 05.	130	-4
CLJ	1961-2007	47	10. 05.	130	<b>-4<sup>+</sup></b>
MB	1961-2009	43	11. 05.	131	-3
ŠS	1961-2010	50	11. 05.	131	-4
MS	1961-2010	50	20. 05.	140	<b>-9***</b>
BLJ	1971-2010	36	18. 05.	138	<b>-11**</b>

Correlation between investigated meteorological parameters and consecutive day in a year when phenophase first flower of oxeye daisy appeared has been made for 8 stations (table 7).

**Table 7. Correlation coefficient (Pearson correlation coefficient) between mean air temperature ( $t_{sr}$ ), mean maximum air temperature ( $t_{max}$ ), mean minimum air temperature ( $t_{min}$ ), sum of effective air temperature (5°C), sum of effective air temperature (10°C), average precipitation quantity, potential evapotranspiration (ETP), water balance and number of days with frost for the period 1961-2010 (value January-May) and phenophase first flowers of oxeye daisy for investigated stations**

St.	$t_{sr}$	$t_{max}$	$t_{min}$	EFT5°C	ETT10°C	Precip.	ETP	WB	frost
BLJ	-0,63	-0,66	-0,40	-0,55	-0,29	0,17	-0,23	0,20	0,20
CLJ	-0,74	-0,77	-0,59	-0,76	-0,54	0,32	-0,55	0,42	-0,25
LJB	-0,83	-0,87	-0,70	-0,79	-0,56	0,38	-0,70	0,45	-0,40
MB	-0,66	-0,68	-0,60	-0,65	-0,46	0,27	-0,56	0,35	-0,27
MS	-0,64	-0,67	-0,58	-0,58	-0,38	0,22	-0,48	0,29	-0,20
NM	-0,68	-0,73	-0,53	-0,53	-0,34	0,37	-0,63	0,37	-0,25
PO	-0,71	-0,72	-0,59	-0,82	-0,62	0,20	-0,59	0,25	0,38
ŠS	-0,70	-0,72	-0,57	-0,83	-0,73	0,05	-0,74	0,19	0,10

The highest correlation coefficient are obtained for correlation between phenophase appearance and temperature characteristics: mean maximum air temperature (from -0.66 in BLJ to -0.87 in LJB), mean air temperature (from -0.63 in BLJ to -0.83 in LJB) and sum of effective air temperature values with temperature threshold of 5°C (from -0.53 in NM to -0.83 in ŠS). Very high correlation coefficient were obtained for the sum of effective air temperature values with temperature threshold of 10°C (to -0.73 in ŠS), mean minimum air temperature (to -0.70 in LJB) and potential evapotranspiration at some stations (to -0.74 in ŠS). Obtained coefficients are negative which means that with temperature rise consecutive days with phenophase appearance are smaller, ie. plants begin earlier with development.



Low, positive correlations were obtained for phenophase appearance and precipitation amounts (from 0.05 in ŠS to 0.38 in LJB) and water balance (from 0.19 in ŠS to 0.45 in LJB) which indicates that precipitation have smaller contribution to phenophase beginning compared to temperature characteristics. Low, negative correlations were obtained for first flower appearance and number of days with frost (from -0.20 in MS to -0.40 in LJB) on most stations.

Similar data is obtained for analysis of phenophases of beech and apple. For **beech** three phenophases were analyzed (first leaves, general yellowing of leaves and general falling of leaves) at 6 phenological stations (BLJ, CLJ, LJB, MB, NM and ŠS), while this data is not recorded at stations PO and MS. Investigated period on most stations is from 1961 to 2010. Spring phenophase (first leaves) has negative trend (to -5 days/50y in NM). Autumn phenophases (general yellowing of leaves and general falling of leaves) have positive trend (to 10 days/49y for general yellowing of leaves in LJB and to 18 days/36y for general falling of leaves in CLJ). In order to determinate the correlation between autumn phenophases and investigated meteorological parameters, correlation analysis was made for phenophase general yellowing of leaves at station LJB for the period 1961-2010 (table 8). This station was selected because it has the longest recorded data time series (49 years, data is missing for the year 2009).

Highest values of correlation coefficient are obtained for effective air temperature sum with temperature threshold of 10°C (0.36) and 5°C (0.35), then mean air temperature (0.34). It indicates that the rise of air temperature (January-October) is followed by extension of autumn phenophases, but on a smaller level compared to the spring phenophases. Water balance and precipitation amount have negative correlation coefficient with -0.21, respectively -0.16. Low values of positive and negative correlation coefficient indicates that climate characteristics have smaller influence on autumn phenophases compared to spring phenophases.

**Table 8. Correlation coefficient (Pearson correlation coefficient) between investigated meteorological parameters (value January-October) and phenophase general yellowing of leaves of beech (Žl) at station Ljubljana-Bežigrad for the period 1961-2010**

Ff	t <sub>sr</sub>	t <sub>max</sub>	t <sub>min</sub>	EFT5°C	EFT10°C	Precip.	ETP	WB	frost
Žl	0,34	0,31	0,31	0,35	0,36	-0,16	0,30	-0,21	0,15

When phenophases of **apple** were analyzed it was noticed that only stations CLJ, NM and PO had longer, but not complete data time series. Data on phenophases of apple are recorded in Slovenia since 1972.

Spring phenophases of apple (first leaves, the beginning of flowering, general flowering and the end of flowering) have negative trends on analyzed stations (to -21 days/32y for phenophase of first leaves, -15 days/31y for the beginning of flowering, -16 days/31y for general flowering and -17 days/31y for the end of flowering at station CLJ). Summer phenophase- beginning of ripening also occurs earlier with a negative trend of -23 days/32y in NM. Picking of apples is earlier on analyzed stations with trend of -29 days/32y in NM. Main reasons for this are high and statistically significant positive trends of air temperature recorded in this city. Autumn phenophases (general yellowing of leaves and general falling of leaves) show positive trends of 11 days/30y, respectively 7 days/29y in CLJ, so they occur later than before. Correlation analysis was made between investigated meteorological parameters and the appearance of the phenophase general flowering of apple (Oc) at phenological station NM (table 9). Investigated period is from 1972 to 2010 with missing data for 5 years (1975, 1976, 1979, 1994 and 2009). Nevertheless this station has the most complete data time series so it was selected for correlation analysis between

investigated meteorological parameters and consecutive day in a year with the beginning of phenophase general flowering of apple.

**Table 9. Correlation coefficient (Pearson correlation coefficient) between investigated meteorological parameters (value January-April) and phenophase general flowering of apple (Oc) at station Novo Mesto for the period 1972-2010**

Ff	$t_{sr}$	$t_{max}$	$t_{min}$	EFT5°C	EFT10°C	Precip.	ETП	WB	frog
Oc	-0,83	-0,84	-0,73	-0,88	-0,51	0,16	-0,68	0,26	-0,28

The highest correlation coefficient values are obtained for effective temperature sum with temperature threshold 5°C (-0.88) (graph 1), mean maximum air temperature (-0.84), mean air temperature (-0.83) and mean minimum air temperature (-0.73). This indicates that temperature values mightily influence the flowering of apple so it is occurring earlier in the year. The smallest value of correlation coefficient are obtained for precipitation amount (0.16) and water balance (0.26).

**Graph 1. Inverse proportionality between effective temperature sum with temperature threshold of 5°C (blue line) and the consecutive day in a year with appearance of general flowering of apple in Novo Mesto (red line) for the period 1972-2010**



In this work phenophases of sowing and harvesting of winter wheat and maize as a representative of crops are analyzed. This data has been recorded in Slovenia since 1996 on 4 stations (CLJ, LJB, MS and NM) (table 10). Nevertheless available data has been analyzed in order to gain insight into the movement of investigated phenophases of these plants.

At all stations sowing of **winter wheat** is done in the middle of October and harvesting in the middle of July next year. For analyzed period of 15 years positive trend of the date of sowing is present at all station because of the high air temperatures in autumn. Also, harvesting is done later on all stations, except MS.

**Table 10. Analyzed stations (st.), phenophase of sowing and harvesting, period of observation, number of years with data, date of appearance of phenophase and trend of analyzed phenophases in Slovenia**

St.	Phenophase	Period of observation	No. years	Date	trend (no. day/no. year)
CLJ	sowing	1996-2009	13	14. 10.	1
	harvesting	1996-2009	13	17. 07.	16
	length	1996-2009	13	/	-15
LJB	sowing	1996-2008	13	15. 10.	8
	harvesting	1996-2008	13	17. 07.	6
	length	1996-2008	13	/	2
MS	sowing	1996-2010	15	15. 10.	4
	harvesting	1996-2010	15	14. 07.	-7
	length	1996-2010	15	/	11
NM	sowing	1996-2010	14	14. 10.	2
	harvesting	1996-2010	13	09. 07.	7
	length	1996-2010	13	/	-5

Correlation analysis was made between the investigated meteorological parameters and the dates of sowing and harvesting of winter wheat at phenological station MS (table 11). Very low negative and positive correlation coefficients values are obtained for the date of sowing. Harvesting of winter wheat show higher values of correlation coefficient with the investigated meteorological parameters. Highest negative values of correlation coefficient are obtained for the date of harvesting and effective air temperature sum with temperature threshold of 10 °C (-0.83) and effective air temperature sum with temperature threshold of 5°C (-0.76). Highest positive values of correlation coefficient are obtained for the date of harvesting and precipitation amount (0.42).

**Table 11. Correlation coefficient (Pearson correlation coefficient) between investigated meteorological parameters and the date of sowing (value January-October) and harvesting (value January-July) of winter wheat at station Murska Sobota-Rakičan for the period 1996-2010**

Ff	t <sub>sr</sub>	t <sub>max</sub>	t <sub>min</sub>	EFT5°C	EFT10°C	Precip.	ETII	WB	frost
sowing	-0,18	-0,05	-0,4	0,15	0,23	0,10	0,08	-0,07	-0,19
harvesting	-0,51	-0,55	-0,33	-0,76	-0,83	0,42	-0,74	-0,53	-0,07

**Maize** is sowing in Slovenia at the end of April or at the beginning of May with the positive trend of sowing on all stations, except in CLJ. Harvesting of maize in Slovenia is done from the middle of September until the beginning of October with a negative trend in CLJ and LJB, and positive in MS and NM. Due to very short data time series it is very hard to speak about trends. Nevertheless it is expected that the maize will be sown and harvested earlier in Slovenia due to high positive values of temperature characteristics.

Correlation analysis has been made between the investigated meteorological parameters and the dates of sowing and harvesting of maize at the phenological station in CLJ (table 12).

**Table 12. Correlation coefficient (Pearson correlation coefficient) between investigated meteorological parameters and the date of sowing (value January-April) and harvesting (value January-September) of maize at station Celje for the period 1996-2008**

Ff	t <sub>sr</sub>	t <sub>max</sub>	t <sub>min</sub>	EFT5°C	EFT10°C	Precip	ETII	WB	frost
sowing	-0.13	-0,15	-0,01	-0,15	-0,32	0,50	-0,43	-0,55	-0,14
harvesting	-0.50	-0,45	-0,37	-0,4	-0,25	0,17	-0,56	-0,24	0,07

The highest values of correlation coefficient are obtained for the date of sowing of maize and water balance (-0.55) and average precipitation quantities (0.50). Date of harvesting show highest correlation coefficient values with potential evapotranspiration (-0.56) and mean air temperature (-0.5).

The problems of computing the correlation between cultivated plants and the studied climatic parameters in the Republic of Slovenia are reflected in a short time series (up to 15 years) and the use of different varieties of winter wheat and maize. During 15 years in MS were sown 7 different varieties of winter wheat, while in the CLJ during 13 years were sown 8 different varieties of maize. Various hybrids have different needs for heat and water due to which its influence on correlation coefficient values is significant. In addition, it was observed that the correlation coefficient values are higher for the dates of harvesting of winter wheat and maize, than for the dates of sowing. Again, the highest correlation coefficient values are obtained for the temperature characteristics, while other parameters showed lower values of correlation coefficient. Significantly higher correlation coefficients for the water balance, potential evapotranspiration and average precipitation quantities are obtained for the dates of sowing and harvesting of maize than for winter wheat.

Based on the analysis of phenological phases earlier beginning of spring and later ending of autumn phenophases of plants is noticed. With this comes the extension of the growing season. The main reason for this is, above all, the high positive trends of spring air temperatures. Similar data are obtained by scientists in other countries. In Austria and Germany spring phenophases of plants occur earlier from 0.36 days/decade in Germany to 0.39 days/decade in Austria (Menzel et al., 2003). Sparks et al. (2001) suggests that in the UK spring phenophases occur from 8 to 10 days earlier with an increase in air temperature of 1°C. In the UK flowering occurs 4.5 days earlier in the last decade of the XX century compared to the period 1950-1990 (Fitter and Fitter, 2002). Based on the data from the International Phenological stations in Europe for the period 1959-1996, Menzel (2000) indicates that in Europe the spring phenophases occurred 6.3 days before and autumn phenophases 4.5 days later. In China, spring phenophases occur from 1.4 to 5.2 days/decade earlier in the north to 7.5 days/decade in the south of the country (Zhang et al, 2004). It is noticed that plants in different parts of the world have a similar response to the increase of air temperature values which is in accordance with the results obtained in this work.

## Conclusion

In the Republic of Slovenia growing season starts first in areas with higher air temperature –submediterranean (BLJ), subpannonian (LD) and major cities (LJB and MB). At higher altitudes (KR and ŠS) and in river valleys surrounded by mountains (CLJ) plants start to develop with a certain delay. Under the influence of high positive trends of temperature parameters growing season is extended (25 days/51y in NM, 21 day/51y in LJB, 20 days/51y in MB) at all analyzed stations. Based on analysis of selected phenological phases of plants earlier beginning of spring phenological phases (-11 days/37y in ŠS for the blossoming of oxeye daisy), and later ending of autumn phases (6 days/50y in LJB for the general falling of leaves of beech) are present. The greatest impact on these

fluctuations of phenological phases have mean, maximum and minimum air temperature values and the sum of effective air temperature with a value of correlation coefficient about -0.80. The influence of average precipitation quantities, potential evapotranspiration and water balance on the occurrence of phenological phases of plants is much lower with the correlation coefficient value of about 0.20 at most stations. Similar results were obtained for Germany, Austria, Estonia, Great Britain, China and other countries which indicated that plants in various parts of the world adapt to climate changes in a similar way.

The obtained results can be used for practical purposes, for example, to determine the suitability of the area for the cultivation of certain crops based, above all, on their needs for heat and humidity, as well as planning the date of sowing, harvesting, pruning, etc. Crop yields vary in the Republic of Slovenia based on this, and thus the supply of the state with basic food. Also, prior to the introduction of new crops in agriculture it is possible to determine whether they match the existing temperature and precipitation conditions and on that basis make the right decision. In Serbia, network of phenological stations is not established.

## References

- Ahas, R., Jaagus, J. and Aasa, A. (2000). The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature. *International Journal of Biometeorology* 44 (4), 159-166.
- Alexandrov, V.A. and Hoogenboom, G. (2000). The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology* 104, 315-327.
- Attri, S.D. and Rathore, L. S. (2003). Simulation of impact of projected climate change on wheat in India. *International Journal of Climatology* 23 (6), 693-705.
- Bergant, K., Kajfež-Bogataj, L., Sušnik, A., Cegnar, T., Črepinšek, Z., Kurnik, B., Dolinar, M., Gregorič, G., Rogelj, D., Žust, A., Matajč, I., Zupančič, B. in Pečenko, A. (2004). *Spremembe podnebja in kmetijstvo v Sloveniji*. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Črepinšek, Z. in Zrnec, C. (2005). Petinpetdeset let fenoloških opazovanj v Sloveniji (1951-2005). *Acta agriculturae Slovenica* 85 (2), 283-297.
- Fitter, A. H., and Fitter, R. S. R. (2002). Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296, 1689-1691.
- Kajfež-Bogataj, L. in Črepinšek, Z. (2003). *Ranljivost slovenskega kmetijstva in gozdarstva na podnebno spremenljivost in ocena predvidenege vpliva*. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.
- \*\*\* Klimatološki i fenološki godišnjaci Agencije Republike Slovenije za okolje za period 1961-2011. godine.
- McCabe, G. J., Ault, T.R., Cook, B.I., Betancourt, L. J. and Swarzhz, D. M. (2011). Influences of the El Niño Southern Oscillation and the Pacific Decadal Oscillation on the timing of North American spring. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3400.
- Menzel, A. (2000). Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology* 44, 76-81.
- Menzel, A. (2003). Plant Phenological Anomalies in Germany and their Relation to Air Temperature and NAO. *Climatic Change* 57 (3), 243-263.
- Otorepec, S. (1980). *Agrometeorologija*. Beograd: Nolit.
- Penzar, I. i B. Penzar (1985). *Agroklimatologija*. Zagreb: Školska knjiga.
- Robeson, S.M. (2002). Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. *Climatic Change* 52, 219-238.
- Roetzer, T., Witzenzeller, M., Haeckel, H. and Nekovar, J. (2000). Phenology in central Europe- differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *International Journal of Biometeorology* 44, 60-66.
- Sparks, T.H., Jeffree, E.P. and Jeffree, C.E. (2001). An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK. *International Journal of Biometeorology* 44, 82-87.
- Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B. and Strahler, A. H. (2004). Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data. *Global Change Biology* 10, 1-13.

## АНАЛИЗА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА У СЛОВЕНИЈИ: ПРОМЕНЕ У РАЗВОЈУ БИЉАКА ПОД УТИЦАЈЕМ МЕТЕОРОЛОШКИХ ПАРАМЕТАРА У ПЕРИОДУ 1961-2011 (ДРУГИ ДЕО)

ДРАГАН МИЛОШЕВИЋ<sup>1\*</sup>, ИГОР ЖИБЕРНА<sup>2</sup>, СТЕВАН САВИЋ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Универзитет у Новом Саду- Природно-математички факултет, Департман за географију, туризам и хотелијерство; Трг Доситеја Обрадовића 3, 21000 Нови Сад

<sup>2</sup>Универзитет у Марибору- Филозофски факултет, Департман за географију; Корошка цеста 160, Марибор, Словенија

<sup>3</sup>Центар за климатолошка и хидролошка истраживања, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду; Трг Доситеја Обрадовића 3, 21000 Нови Сад

**Сажетак:** У раду су израчунати пролећни и јесењи температурни прагови од 5°C и 10°C, суме активних температура ваздуха и дужина периода развоја биљака (температурни праг од 5°C) и вегетационог периода (10°C) за 10 метеоролошких станица у Републици Словенији. Изучавани период је од 1961. до 2011. године. Такође, израчунати су датуми појаве фенолошких фаза одабраних биљака (велике беле раде, букве, јабуке, озиме пшенице и кукуруза). Уочено је да постоји тенденција ранијег појављивања пролећних фенолошких фаза и каснијег појављивања јесењих фенолошких фаза. Услед тога у Републици Словенији долази до продуживања вегетационе сезоне. Датуми појаве фенолошких фаза одабраних биљака са 8 фенолошких станица су повезани са резултатима анализе метеоролошких параметара са 8 метеоролошких станица. Највиши коефицијенти корелације су добијени за температурне параметре (0,8), док су средња количина падавина, број дана са мразом, потенцијална евапотранспирација и водни биланс показали низак степен корелације са појавом фенофаза биљака.

**Кључне речи:** фенофаза, климатске промене, коефицијент корелације, Република Словенија

### Увод

Последице климатских промена углавном имају негативан утицај на људско друштво наносећи материјалну штету која се изражава у милијардама €. На нашој Планети већ сада живи више од 7 милијарди људи, а храна је поскупела услед негативних ефеката климатских промена (суше, поплаве, врућине, мразеви, итд) које смањују висину и квалитет приноса.

Биљна фенологија је наука која проучава наступе развојних фаза биљака (ницање, листање, пупење, класање, цветање, зрење и сл.), тзв. фенолошких фаза-фенофаза. Просечни или најчешћи почети и трајање фенолошких фаза на неком месту одраз су климе која тамо влада. Биљке су толико зависне од климе да просторна расподела почетка неке фенолошке фазе може показати климатске разлике у оквиру проучаваног региона, државе и сл. (Penzar i Penzar, 1985).

Климатски елементи, као што су температура и падавине су веома значајни за развој и живот биљака. Управо због тога промене ових параметара имају велики утицај на биљни свет. Међутим, биљке се интегрално одазивају не само на промене климатолошких, него и педолошких, геолошких и других елемената.

Од краја '80-их година XX века потреба за фенолошким подацима се знатно увећала, а са њом и број научника који се баве обрадом ових података. Узрок томе је пораст температуре ваздуха у претходним деценијама и јасан одговор биљака на ове промене који је уочен у фенолошким подацима. Истраживањем утицаја климе на биљке се баве бројни научници у Словенији (Kajfež-Bogataj in Štepinšek, 2003; Bergant in sod., 2004; Štepinšek in Zrnec, 2005) и у другим земљама Европе (Ahas et al., 2000;

\* e-mail: draganmilosevic88@yahoo.com

Alexandrov and Hoogenboom, 2000; Menzel, 2000; Roetzer et al., 2000; Sparks et al., 2001; Fitter and Fitter, 2002; Menzel, 2003). На другим континентима су, такође, заступљена ова истраживања (Robeson, 2002; Atrri and Rathore, 2003; Zhang et al., 2004; McCabe et al., 2011).

Циљ рада је да се дефинишу просторно-временске карактеристике и тенденције кретања одабраних фенолошких параметара на простору Републике Словеније. Поређењем добијених резултата и резултата других истраживача треба уочити да ли су промене у Републици Словенији у складу са фенолошким променама на Европском континенту, односно планетарном нивоу или постоје одређене регионалне разлике. Подаци о метеоролошким параметрима су повезани са фенолошким подацима у циљу утврђивања интензитета утицаја климе на вегетацију.

### **Положај фенолошких станица, база података и методологија истраживања**

У раду су коришћени подаци са 10 метеоролошких и 8 фенолошких станица које су смештене на територији Републике Словеније (прилог 1, табела 1). Подаци су обрађени за период од 1961. до 2011. године. Варијабле су прорачунате на основу вредности које су преузете од Агенције Републике Словеније за околје (ARSO). Метеоролошки и фенолошки подаци се читавају у истом насељу ради њиховог повезивања приликом анализе. Изузетак су станице Кредарица и Лендава где се фенолошки подаци не бележе.

Одабране фенолошке станице су смештене на територији различитих физичкогеографских региона Словеније. У алпском макрорегиону су смештене фенолошке станице Шмартно при Словењ Градцу и Цеље. У динарском макрорегиону су смештене станице Постојна, Љубљана-Бежиград и Ново Место. У субпанонском макрорегиону су смештене станице Марибор-Табор и Мурска Собота-Ракичан. Најмањи макрорегион у Словенији је субмедитерански и у оквиру њега је смештена станица Биље. Релативна висинска разлика између највише (Кредарица, 2514 m н.в.) и најниже метеоролошке станице (Биље, 55 m н.в.) износи 2459 m, док се седам од десет станица налази на висини између 188 и 455 m н.в. Још се једино станица у насељу Постојна (533 m н.в.) одликује већом надморском висином.

У раду је извршена анализа пролећног и јесењег температурног прага од 5°C и 10°C, као и трајање одговарајућег периода развоја биљака и вегетационог периода са 10 метеоролошких станица. Изучавани период је од 1961. до 2011. године. Израчунати су коефицијенти корелације између изучаваних метеоролошких параметара и појаве фенолошких фаза са 8 метеоролошких и фенолошких станица.

Фенолошке фазе су анализиране код следећих биљака: велике беле раде (фенофаза- први цветови), букве (фенофаза: први листови, опште жућење лишћа и опште опадање лишћа), јабуке (фенофаза: први листови, почетак цветања, опште цветање, крај цветања, почетак зрења, брање, опште жућење лишћа и опште опадање лишћа), озиме пшенице (сетва и жетва) и кукуруза (сетва и брање). Приликом одабира биљака за анализу фенолошких фаза изабране су различите биљне врсте. Велика бела рада (*Leucanthemum vulgare* Lam.) спада у дивље зељасте биљке, буква (*Fagus sylvatica* L.) спада у шумско дрвеће, јабука (*Malus domestica* Borkh.) спада у воће и озима пшеница (*Triticum aestivum* L.) и кукуруз (*Zea mays* L.) као представници усева.

**Табела 1. Географске координате, надморска висина (m), период осматрања и тип испитиваних метеоролошких станица у Словенији (гл- главна метеоролошка станица, кл- климатолошка станица); \*- фенолошке станице (извор: ARSO, 2012)**

**Прилог 1. Локације фенолошких станица на простору Словеније (црни правоугаоник- изабране фенолошке станице) (извор: ARSO, 2007)**

У раду су коришћене следеће методе за обраду података: коефицијент корелације (Pearson correlation coefficient) и методе за одређивање температурних прагова од 5°C и 10°C.

Пролећни температурни праг је одређен на основу формуле:

$$D = \frac{T_{pr} - T_{pod}}{T_{nad} - T_{pod}} \times A$$

При чему је:

D- број дана који се додају средњем дану у месецу пре температурног прага,

Trg- температурни праг (5°C или 10°C),

Tpod- средња месечна температура ваздуха пре наступа температурног прага,

Tnad- средња месечна температура ваздуха после наступа температурног прага и

A- број дана између средњих дана у оба месеца (обично 30 или 31).

Јесењи температурни праг је одређен на основу формуле:

$$D = \frac{T_{nad} - Tr}{T_{nad} - T_{pod}} \times A$$

При чему је:

D- број дана који се додају средњем дану у месецу пре температурног прага,

Trg- температурни праг (5°C или 10°C),

Tpod- средња месечна температура ваздуха пре наступа температурног прага,

Tnad- средња месечна температура ваздуха после наступа температурног прага и

A- број дана између средњих дана у оба месеца (обично 30 или 31).

### Резултати истраживања и дискусија

Извршена је анализа појаве пролећног и јесењег температурног прага, сума активних температура ваздуха и дужине периода развоја биљака одређеног температурним прагом од 5°C. Температурни праг од 5°C је нарочито значајан за ницање стрних жита (озиме пшенице, јечма, овса, озиме ражи) јер он представља биолошки минимум при коме почиње раст биљке.

На основу података у табели 2 може се уочити да се пролећни температурни праг (5°C) најраније јавља на станицама: БЉ (17. фебруар), ЛД (5. март), ЉБ (6. март) и МБ (7. март), а најкасније на станицама ШС (23. март), ПО (20. март) и ЦЉ (12. март). Јесењи температурни праг (5°C) се најраније јавља на станицама ШС (6. новембар), МС (13. новембар), ПО и ЦЉ (14. новембар). Најкасније се јавља на станицама ЛД, ЉБ (17. новембар) и НМ (16. новембар). Највећу суму активних температура ваздуха имају станице: БЉ (4226°C), ЛД (3686°C), ЉБ (3671°C) и МБ (3610°C), а најмање ШС (3008°C), ПО (3085°C) и ЦЉ (3441°C). Период развоја биљака (5°C) најдуже траје на станици БЉ (293 дана), а најкраће на станици ШС (229 дана) што даје разлику од скоро месец дана. Дуг период развоја биљака карактерише и ЛД (258 дана), ЉБ (257 дана), МБ (254 дана) и НМ (253 дана).

Анализирани су и трендови пролећног и јесењег температурног прага, дужине периода развоја биљака и сума активних температура ваздуха (5°C) и добијени резултати су приказани у табели 3.

Код свих станица су присутни негативни трендови пролећног температурног прага. Ово указује да се пролећни температурни праг помера уназад, тј. биљке раније почињу са својим развојем. Највећи и статистички значајни трендови пролећног температурног прага се јављају на станицама МБ и НМ (-15 дана/51г), ЉБ (-14



дана/51г), ПО (-12 дана/51г) и ШС (-11 дана/51г). Јесењи температурни праг показује позитиван тренд код свих анализираних станица. Највиши и статистички најзначајнији трендови су забележени на станицама ЉБ (10 дана/51г) и НМ, ЦЉ и ШС (9 дана/51г). Приметна је тенденција раста суме активних температура ваздуха на свим станицама и сви трендови су статистички значајни. До највећег раста суме активних температура је дошло на станицама: НМ (718°C/51г), ЉБ (677°C/51г) и МБ (660°C/51г). Услед ранијег почетка и каснијег завршетка оптималних услова за развој биљака долази до продуживања периода развоја биљака. У анализираном периоду, период развоја биљака је продужен на свим станицама, а највише на следећим: НМ и ЉБ (24 дана/51г), МБ (21 дан/51г), ПО и ШС (20 дана/51г) и МС (15 дана/51г). Ови трендови су и статистички значајни.

**Табела 2. Узастопни број дана у години и датум са појавом пролећног (Тп) и јесењег (Тј) температурног прага (5°C), суме активних температура ваздуха (°C) и дужина периода развоја биљака у Словенији у периоду 1961-2011. године**

Извршена је анализа појаве пролећног и јесењег температурног прага и дужине вегетационог периода одређеног температурним прагом од 10°C (табела 4). Температурни праг од 10°C је нарочито значајан за развој кукуруза, јер он представља биолошки минимум при коме почиње развој биљке (Otočec, 1980).

Пролећни температурни праг (10°C) се најраније јавља на станицама БЉ (4. април), ЛД (9. април) и ЉБ (12. април), а најкасније на станицама ПО (28. април), ШС (25. април) и ЦЉ (17. април). Јесењи температурни праг (10°C) се најраније јавља на станицама ШС (8. октобар), ПО (12. октобар) и МС (14. октобар). Најкасније се јавља на станицама БЉ (2. новембар), ЉБ (19. октобар) и ЛД (18. октобар). Суме активних температура ваздуха у току вегетационог периода су највеће на станицама БЉ (3684°C), ЛД (3188°C), ЉБ (3158°C) и МБ (3107°C), а најмање на станицама ШС (2545°C), ПО (2549°C) и ЦЉ (2939°C).

Вегетациони период (10°C) најдуже траје на станици Биље (205 дана) у субмедитеранском климатском региону, а најкраће на станици Шмартно при Словењ Градцу (167 дана) у планинском климатском региону северне Словеније. Дуг вегетациони период карактерише и станице у субпанонском климатском региону (Лендава, 193 дана) и велике градове (Љубљана-Бежиград, 190 дана; Марибор-Табора, 189 дана) које карактеришу више температуре ваздуха, између осталог, и због ефекта тзв. „урбаног острва топлоте“. Краћи вегетациони период карактерише станице Постојна (168 дана) и Цеље (182 дана) у умерено континенталном климатском региону западне, односно средње Словеније.

**Табела 3. Трендови пролећног (Тп) и јесењег (Тј) температурног прага (5°C), суме активних температура ваздуха (°C) и дужине периода развоја биљака у Словенији у периоду 1961-2011. године; **болд<sup>†</sup>** – статистичка значајност 90%, **болд<sup>\*</sup>** – статистичка значајност 95%, **болд<sup>\*\*</sup>** – статистичка значајност 99% и **болд<sup>\*\*\*</sup>** – статистичка значајност 99,9%**

**Табела 4. Узастопни број дана у години и датум са појавом пролећног (Тп) и јесењег (Тј) температурног прага (10°C), суме активних температура ваздуха (°C) и дужина вегетационог периода у Словенији у периоду 1961-2011. године**

Анализирани су и трендови пролећног и јесењег температурног прага, дужине вегетационог периода и сума активних температура ваздуха (10°C) и добијени резултати су приказани у табели 5.

На свим анализираним станицама појава пролећног температурног прага има статистички значајан негативни тренд, што значи да биљке раније почињу са својим

развојем. Највећи негативни трендови се јављају на станицама НМ (-14 дана/51г), ЉБ (-13 дана/51г), БЉ и ПО (-11 дана/51г). Јесењи температурни праг показује тренд раста на свим станицама, а статистички је најзначајнији у НМ (11 дана/51г) и ЉБ (9 дана/51г). Трендови ранијег почетка пролећних фаза су статистички значајнији од трендова каснијег завршетка јесењих фаза. Суме активних температура ваздуха показују статистички значајан тренд раста на свим станицама, а највиши на станицама НМ (736°C/51г), МБ (674°C/51г) и ЉБ (660°C/51г). На свим станицама је забележен статистички значајан тренд раста дужине вегетационог периода. Вегетациони период је највише продужен на станицама НМ (25 дана/51г), ЉБ (21 дан/51г) и МБ (20 дана/51г), а најмање на станицама ЛД (11 дана/51г) и ЦЉ, ШС и МС (17 дана/51г).

**Табела 5. Трендови пролећног (Тп) и јесењег (Тј) температуриног прага (10°C), суме активних температура ваздуха (°C) и дужине вегетационог периода у Словенији у периоду 1961-2011. године; болд<sup>+</sup> – статистичка значајност 90%, болд\* – статистичка значајност 95%, болд\*\* – статистичка значајност 99% и болд\*\*\* – статистичка значајност 99,9%**

Извршена је анализа појаве фенолошких фаза биљака (велике беле раде, букве, јабуке, озиме пшенице и кукуруза) и њихова корелација са добијеним резултатима анализе одабраних метеоролошких параметара.

У вези **велике беле раде** се бележе подаци о појави фенофазе првих цветова. У табели 6 су приказане анализиране станице, период осматрања, број година са подацима, просечни датуми појаве фенофазе, узастопни дани у години који представљају почетак изучаване фенолошке фазе и трендови фенолошке фазе. Проблем је што код неких станица недостају подаци за поједине године, али и поред тога настојала се пружити слика о наступу изучаване фенолошке фазе на простору Словеније у току последњих 50 година.

**Табела 6. Анализиране станице, период осматрања, број година са подацима у току периода осматрања, датум појаве фенофазе, узастопни дан у години и тренд фенофазе првог цвета велике беле раде у Словенији; болд<sup>+</sup> – статистичка значајност 90%, болд\* – статистичка значајност 95%, болд\*\* – статистичка значајност 99% и болд\*\*\* – статистичка значајност 99,9%**

Први цветови велике беле раде се најраније јављају у крајевима са вишом температуром ваздуха у субмедитеранској Словенији (БЉ, 5. мај), а најкасније у подручјима која се налазе на већим надморским висинама и имају ниже температуре ваздуха (ПО, 20 мај). На свим станицама је евидентан негативан тренд појаве анализиране фенофазе, што значи да се први цветови велике беле раде појављују све раније. Највећи тренд ранијег почетка анализиране фенофазе се јавља на станицама у планинским крајевима, као што су ШС (-11 дана/40г), ПО (-9 дана/50г) и ЦЉ (-8 дана/49г).

Извршена је корелација између изучаваних метеоролошких параметара (вредност за период од почетка године до наступа фенофазе) и узаступног броја дана у години када се јавља фенолошка фаза првих цветова велике беле раде за 8 анализираних фенолошких станица (табела 7).

**Табела 7. Коефицијент корелације (Pearson correlation coefficient) између изучаваних параметара средње температуре ваздуха ( $t_r$ ), средње максималне температуре ( $t_{max}$ ), средње минималне температуре ( $t_{min}$ ), сума ефективних температура ваздуха (ЕФТ 5°C), сума ефективних температура ваздуха (ЕФТ 10°C), средње количине падавина, потенцијалне евапотранспирације (ЕТП), водног биланса (ВБ) и броја дана са мразом за период 1961-2010. године (вредност јануар-мај) и појаве фенофазе првих цветова велике беле раде за анализиране станице**

Највећи коефицијенти корелације су добијени за везу између појаве фенофазе и температурних карактеристика: средње максималне температуре ваздуха (од -0,66 у

Бљ до  $-0,87$  у ЉБ), средње температуре ваздуха (од  $-0,63$  у Бљ до  $-0,83$  у ЉБ) и сума ефективних температура ваздуха са температурним прагом од  $5^{\circ}\text{C}$  (од  $-0,53$  у НМ до  $-0,83$  у ШС). Веома високи негативни коефицијенти корелације су добијени за суму ефективних температура ваздуха са температурним прагом од  $10^{\circ}\text{C}$  (до  $-0,73$  у ШС), средњу минималну температуру (до  $-0,70$  у ЉБ) и потенцијалну евапотранспирацију за поједине станице (до  $-0,74$  у ШС). Добијени коефицијенти су негативни што значи да се са порастом температуре ваздуха смањује узастопни број дана у години са појавом фенофазе, тј. биљка раније почиње са развојем. Ниске, позитивне корелације су добијене за појаву фенофазе првих цветова и средње количине падавина (од  $0,05$  у ШС до  $0,38$  у ЉБ) и водног биланса (од  $0,19$  у ШС до  $0,45$  у ЉБ) што указује да падавине немају толики значај за почетак фенофазе, као што имају температуре ваздуха. Ниске, негативне корелације су добијене за појаву фенофазе првих цветова и броја дана са мразом (од  $-0,20$  у МС до  $-0,40$  у ЉБ) на већини станица.

Слични подаци су добијени и за анализиране фенолошке фазе букве и јабуке. За **букву** су анализиране три фенолошке фазе (појава првих листова, опште жућење лишћа и опште опадање лишћа) на 6 фенолошких станица (Бљ, Цљ, ЉБ, МБ, НМ и ШС), док се подаци о фенолошким фазама букве не бележе у ПО и МС. Анализирани период на већини станица је од 1961. до 2010. године. Пролећна фенофаза (први листови) има негативан тренд (до  $-5$  дана/50г у НМ). Јесење фенофазе (опште жућење и опадање лишћа) имају позитиван тренд (до 10 дана/49г за жућење лишћа у ЉБ и до 18 дана/36г за опште опадање лишћа у Цљ). У циљу утврђивања везе између јесењих фенолошких фаза и изучаваних метеоролошких параметара урађена је корелациона анализа за фенофазу општег жућења лишћа на станици ЉБ за период 1961-2010. године (табела 8). Ова станица је изабрана јер има најдужи низ (49 година, недостају подаци за 2009. годину).

Највећи позитиван коефицијент корелације је између суме ефективних температура ваздуха од  $10^{\circ}\text{C}$  ( $0,36$ ) и  $5^{\circ}\text{C}$  ( $0,35$ ), затим средње температуре ваздуха ( $0,34$ ). То указује да са порастом температуре ваздуха (вредност јануар-октобар) долази и до продуживања јесењих фенолошких фаза, али не на толико значајном нивоу као за пролећне фазе. Водни биланс и падавине имају негативан коефицијент корелације од  $-0,21$ , односно  $-0,16$ . Ниски позитивни и негативни коефицијенти корелације указују да климатске прилике имају мањи утицај на фенолошке фазе биљака које се одвијају у јесен, за разлику од пролећних фенолошких фаза.

**Табела 8. Коефицијент корелације (Pearson correlation coefficient) између изучаваних параметара (вредност јануар-октобар) и појаве фенофазе општег жућења лишћа (Жл) букве за станицу Љубљана-Бежиград у периоду 1961-2010. године**

Приликом обраде фенолошких фаза **јабуке** једино су станице Цљ, НМ и ПО имале довољно дугачке, али не у потпуности комплетне низове за анализу. Подаци о фенолошким фазама јабуке у Републици Словенији се бележе од 1972. године.

Пролећне фенофазе јабуке (први листови, почетак цветања, опште цветање и крај цветања) имају негативне трендове на анализираним станицама (до  $-21$  дана/32г за фенофазу првих листова,  $-15$  дана/31г за почетак цветања,  $-16$  дана/31г за опште цветање и  $-17$  дана/31г за крај цветања на станици Цљ). Летња фенофаза - почетак зрења се, такође, јавља раније са негативним трендом до  $-23$  дана/32г у НМ. Са брањем јабуке се почиње све раније на анализираним станицама са трендом до  $-29$  дана/32г у НМ. Главни разлог за то су високи и статистички значајни позитивни трендови температура ваздуха за овај град. Јесење фенофазе (опште жућење и опадање лишћа) показују позитиван тренд од 11 дана/30г, односно 7 дана/29г у Цљ, па се јављају све касније. Извршена је корелациона анализа између изучаваних параметара и појаве фенолошке фазе општег цветања (Оц) јабуке на фенолошкој

станции НМ (табела 9). Изучавани период је од 1972. до 2010. године у коме недостају подаци за 5 година (1975, 1976, 1979, 1994 и 2009. година). Поред тога, на овој станици су, у односу на друге, подаци најкомплетнији и због тога је она изабрана за изучавање корелације између промена метеоролошких параметара и узаступног дана у години са почетком фенолошке фазе општег цветања јабуке.

**Табела 9. Коефицијент корелације (Pearson correlation coefficient) између изучаваних параметара (вредност јануар-април) и појаве фенофазе општег цветања јабуке (Оц) за станицу Ново Место у периоду 1972-2010. године**

Највећа вредност коефицијента корелације је добијена за суме ефективних температура ваздуха од 5°C (-0,88) (графикон 1), средње максималне температуре ваздуха (-0,84), средње температуре ваздуха (-0,83) и средње минималне температуре ваздуха (-0,73). Ово указује да температуре ваздуха моћно утичу на цветање јабуке услед чега долази до раније појаве ове фенофазе у току године. Најмања вредност коефицијента корелације је добијена за падавине (0,16) и водни биланс (0,26).

**Графикон 1. Обрнута пропорционалност између сума ефективне температуре ваздуха од 5°C (плава линија) и дана појаве општег цветања јабуке у Новом Месту (црвена линија) у периоду 1972-2010. године**

Од култивисаних биљака у раду су анализирани фенофазе сетве и жетве озиме пшенице и кукуруза. Проблем се јавио што се са бележењем ових фаза у Словенији почело тек 1996. године и то на четири станице (ЦЉ, ЉБ, МС и НМ) (табела 10). Ипак, подаци су анализирани како би се добио увид у кретање фенолошких фаза наведених биљака.

**Табела 10. Анализирани станице (ст.), фенофазе сетве и жетве и дужина вегетационог периода, период осматрања, број година са подацима у току периода осматрања, датум појаве фенофазе и тренд анализираних фенофаза озиме пшенице у Словенији (бр. дана/бр. год.)**

На свим станицама сетва **озиме пшенице** се врши половином октобра претходне, а жетва половином јула следеће године. За анализирани период од око 15 година на свим станицама се јавља раст узаступног дана са датумом сетве озиме пшенице због високих јесењих температура. Такође, жетва се врши све касније на свим станицама, осим за МС.

Извршена је корелациона анализа између изучаваних параметара и датума сетве и жетве пшенице на фенолошкој станици МС (табела 11). Добијени су веома ниски позитивни и негативни коефицијенти корелације за датум сетве пшенице. Жетва пшенице показује већи степен корелације са изучаваним параметрима. Највећи негативни коефицијенти корелације су добијени за датум жетве пшенице и суму ефективних температура ваздуха са температурним прагом од 10°C (-0,83) и суму ефективних температура ваздуха са температурним прагом од 5°C (-0,76). Највећи позитиван коефицијент корелације је добијен за количину падавина (0,42).

**Табела 11. Коефицијент корелације (Pearson correlation coefficient) између изучаваних параметара и датума сетве (вредност јануар-октобар) и жетве (вредност јануар-јул) озиме пшенице за станицу Мурска Собота-Ракичан у периоду 1996-2010. године**

**Кукуруз** се у Словенији сеје крајем априла или почетком маја са тенденцијом све раније сетве на свим станицама, осим у ЦЉ. Брање кукуруза се у Словенији обавља половином септембра до почетка октобра са тенденцијом све ранијег брања у ЦЉ и ЉБ, а каснијег у МС и НМ. Услед веома кратког низа изучаваних фаза тешко је

говорити о трендовима. Ипак, услед све виших температура ваздуха за очекивати је да ће се кукуруз у будућности све раније сејати, али и раније брати на територији Словеније.

Извршена је корелациона анализа између изучаваних параметара и датума сетве и брања кукуруза на фенолошкој станици ЦЉ (табела 12).

**Табела 12. Коефицијент корелације (Pearson correlation coefficient) између изучаваних параметара и датума сетве (вредност јануар-април) и брања (вредност јануар-септембар) кукуруза за станицу Цеље у периоду 1996-2008. године**

Највећи коефицијенти корелације између датума сетве и изучаваних параметара су добијени за водни биланс (-0,55) и количину падавина (0,50). Датум брања и потенцијална евапотранспирација показују највећи коефицијент корелације (-0,56), као и средња температура ваздуха (-0,50).

Проблеми рачунања корелације између култивисаних биљака и изучаваних метеоролошких параметара на подручју Републике Словеније се огледају у кратком низу (до 15 година) и употреби различитих сорти пшенице и кукуруза. За 15 година у МС се сејало 7 различитих сорти озиме пшенице, док је у ЦЉ за 13 година сејано 8 различитих сорти кукуруза. Различити хибриди имају другачије потребе за топлотом и водом услед чега је њихов утицај на висину коефицијента корелације значајан. Поред тога, уочено је да су коефицијенти корелације знатно виши за датуме жетве озиме пшенице и кукуруза, него за датуме њихове сетве. Поново су највећи коефицијенти корелације добијени за температурне карактеристике, док остали параметри показују ниже вредности. Значајно виши коефицијенти корелације за водни биланс, потенцијалну евапотранспирацију и количину падавина је добијен за датум сетве и брања кукуруза него за озиму пшеницу.

На основу анализе фенолошких фаза може се констатовати ранији почетак пролећних, а каснији завршетак јесењих фенофаза биљака. Услед тога долази до продужења вегетационе сезоне. Главни разлог за то су, пре свега, високе пролећне температуре ваздуха. Сличне податке су добили и научници у другим земљама. У Аустрији и Немачкој пролећне фенофазе биљака се јављају све раније од 0,36 дана/декади у Немачкој до 0,39 дана/декади у Аустрији (Menzel, 2003). Спаркс (Sparks et al., 2001) указује да се у Великој Британији пролећне фенофазе јављају од 8 до 10 дана раније са порастом температуре ваздуха од 1°C. У Великој Британији се фенофаза цветања јавља за 4,5 дана раније у току последње декаде XX века у односу на период 1950-1990. године (Fitter and Fitter, 2002). На основу података са Међународних фенолошких станица у Европи за период 1959-1996, Мензел (Menzel, 2000) указује да се на подручју Европе пролећне фенофазе јављају 6,3 дана раније, а јесење 4,5 дана касније. У Кини се пролећне фенофазе јављају од 1,4 до 5,2 дана/декади раније на северу земље до 7,5 дана/декади на југу (Zhang et al., 2004). Може се уочити да биљке у различитим деловима света одговарају на сличан начин на пораст температуре ваздуха што је у складу са резултатима добијеним у овом раду.

### **Закључна разматрања**

У Републици Словенији вегетациони период најпре почиње у подручјима са вишом температуром ваздуха - субмедитеранском (БЉ), субпанонском (ЛД) и већим градовима (ЉБ и МБ). На већим надморским висинама (КР и ШС) и у котлинама река окруженим планинама (ЦЉ) биљке почињу да се развијају са одређеним закашњењем. Под утицајем високих позитивних трендова температурних параметара долази до продуживања вегетационог периода (25 дана/51г у НМ, 21 дан/51г у ЉБ, 20 дана/51г у МБ) на свим анализираним станицама. На основу резултата анализе фенолошких фаза

одабраних биљака може се констатовати ранији почетак пролећних фенолошких фаза (-11 дана/37г у ШС за цветање велике беле раде), али и каснији завршетак јесењих фаза (6 дана/50г у ЛБ за опадање лишћа букве). Највећи утицај на таква кретања имају средње, максималне и минималне температуре ваздуха, као и суме ефективних температура ваздуха са вредношћу корелационог коефицијента око -0,80. Утицај падавина, потенцијалне евапотранспирације и водног биланса на појаву фенолошких фаза биљака је знатно мањи са вредношћу корелационог коефицијента око 0,20 за већину изучаваних биљака. Слични резултати су добијени и за Немачку, Аустрију, Естонију, Велику Британију, Кину и друге земље што нам указује да се биљке у разним деловима света прилагођавају насталим климатским променама.

Добијени резултати могу послужити у практичне сврхе, нпр. за одређивање примерености подручја за гајење одређених усева на основу, пре свега, њихове потребе за топлотом и влагом, као и планирања датума сетве, жетве, резидбе и сл. Од наведеног зависе приноси усева у Републици Словенији, а самим тим и снабдевеност државе основним животним намирницама. Такође, пре самог увођења нових усева у пољопривредну производњу могуће је одредити да ли им одговарају постојећи температурни и падавински услови и на основу тога донети исправну одлуку. У Републици Србији не постоји оформљена мрежа фенолошких станица.

## **Литература**

Литературу видети на 13 страни.