

## Wpływ temperatury na przebieg fenofaz *Galanthus nivalis* (Amaryllidaceae) w zróżnicowanych fitocenozach wzniesienia Święty Krzyż (Góry Świętokrzyskie, Wyżyna Małopolska)

MONIKA PODGÓRSKA i MIROSLAW SZWED

PODGÓRSKA, M. AND SZWED, M. 2017. The impact of temperature on the course of phenophases of *Galanthus nivalis* (Amaryllidaceae) in different phytocoenoses on Święty Krzyż Mt. (Góry Świętokrzyskie Mts, Wyżyna Małopolska upland). *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica* 24(2): 387–400. Kraków. e-ISSN 2449-8890, ISSN 1640-629X.

ABSTRACT: This study examined the effects of temperature on the course of phenological phases of *Galanthus nivalis* in three types of plant communities growing on Święty Krzyż Mt. (Góry Świętokrzyskie Mts). The study was done in February–May 2016 on three permanent plots in different phytocoenoses on the north slope of the mountain. Temperature (air and ground) was measured on all plots, and all individuals of the studied species were counted, with breakdowns into particular phenophases. Phytosociological relevés of every community were made by the Braun-Blanquet method. Growth of *G. nivalis* was correlated with the spring increase of air and ground temperature, which varied in the plant communities, affecting the duration of individual phenophases of the species and their differentiation in every permanent plot. Above-freezing ground temperature triggered the growth of common snowdrop, whereas high air temperature terminated its growth. The correlations between temperature and phenophase in every plot are given, as well as the floristic composition of the three plant communities where *G. nivalis* occurred.

KEY WORDS: phenology, plant communities, permanent plots, protected species, vascular plant species, Wyżyna Małopolska upland, Poland

M. Podgórska (autor korespondencyjny), Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, Polska; e-mail: iris@ujk.edu.pl

M. Szwed, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, Polska; e-mail: mireneusz@ujk.kielce.pl

### WSTĘP

Fenologia to nauka zajmująca się badaniem zjawisk przyrody występujących w świecie roślin (fitofenologia) i zwierząt (zoofenologia) w związku z okresowymi zmianami zachodzącymi w otoczeniu tych organizmów (FALIŃSKA 1997; STRZELCZAK 2002).

Najstarsze odnalezione notowania dotyczące obserwacji fenologicznych z terenu Polski dotyczą okolic Krakowa (XV i XVI w.). Początek klasycznych badań fenologicznych sięga końca XIX w. i związany jest z powstaniem tzw. krakowskiej (1865) oraz warszawskiej

(1885) sieci meteorologicznej, które to, oprócz klasycznych pomiarów meteorologicznych, prowadziły także obserwacje fenologiczne oraz pomiary temperatury i wilgotności gruntu (OBREBSKA-STARKLOWA 1993; STRZELCZAK 2002; JABŁOŃSKA 2014). Początki obserwacji fitofenologicznych związane były przede wszystkim z roślinami uprawnymi i gospodarką rolną. Na podstawie warunków termicznych oceniano np. stan zbóż, czy szacowano szkody w sadach. Obecnie fitofenologia ma zastosowanie zarówno w naukach rolniczych (obserwacje fenofaz roślin uprawnych, np. SAWICKA & KROCHMAL-MARCZAK 2005; RYKACZEWSKA 2013), jak i w ochronie przyrody (m.in. badania nad fenologią gatunków rzadkich, np. KOSTUCH & MISZTAŁ 2008, czy inwazyjnych, np. PISKORZ & KLIMKO 2002). Coraz ważniejsze znaczenie mają badania fenologiczne w kontekście zmieniających się globalnie warunków klimatycznych (CLELAND i in. 2007; GORDO & SANZ 2010; PARMESAN & HANLEY 2015).

Jednym z czynników odgrywających kluczową rolę w rozwoju roślin jest temperatura, która wpływa na termin i długość poszczególnych fenofaz badanych gatunków (HERMAN 1962; JABŁOŃSKA 2014). Fenofazy te zestawiane są w tzw. spektra fenologiczne (O'BRIEN i in. 1983), na podstawie których określane są fenologiczne pory roku. Warto zaznaczyć, iż istnieją różne podejścia do podziałów fenologicznych pór roku. Rozbieżności te wynikają z różnic w doborze gatunków wskaźnikowych (m.in. SZAFER 1922; TOMASZEWSKA & RUTKOWSKI 1999; JABŁOŃSKA 2014).

W strefie klimatu umiarkowanego, jednym z najwcześniej kwitnących gatunków roślin jest *Galanthus nivalis* L. (śnieżyczka przebiśnieg), którego rozwijające się kwiaty często jako pierwsze przebijają zanikającą pokrywę śnieżną. Wykształciły do tego celu wiele przystosowań, np. w świeżo otwartych kwiatkach mezofil centralnej części działek składa się z kilku warstw komórek, natomiast w starszych tworzą się duże kanały powietrzne, stanowiące adaptację do warunków termicznych środowiska (WERYSZKO-CHMIELEWSKA & CHWIL 2016). Dlatego też gatunek ten, zwyczajowo nazywany „zwiastunem przedwiośnia”, powszechnie uznawany jest za wskaźnik jednej z fenologicznych pór roku – przedwiośnia.

*Galanthus nivalis* jest cennym składnikiem fitocenozy leśnych, stosunkowo rzadkim w naszym kraju (ZAJĄC & ZAJĄC 2001), podlegającym częściowej ochronie gatunkowej (ROZPORZĄDZENIE 2014). Dodatkowo, włączony został także do monitoringu gatunków i siedlisk w ramach sieci Natura 2000 (WALUSIAK & WILK 2012). W ostatnich dziesięcioleciach stwierdzono zanikanie wielu jego stanowisk oraz pojawianie się nowych (ZARZYCKI i in. 2002), dlatego też w literaturze botanicznej często można napotkać notowania dotyczące nowoodkrytych stanowisk wraz z informacjami na temat liczebności populacji (m.in. CIOSEK i in. 2009; PIWOWARSKI 2011a, b; ADAMCZYK 2013). Stosunkowo dużo publikacji dotyczy wyników badań nad biologią oraz ekologią tego gatunku. Związane są one przede wszystkim z ekologicznymi przystosowaniami jego kwiatów oraz nasion m.in. do rozwoju w niskich temperaturach (BUDNIKOV & KRITSFALUSY 1994; ROSEMARY i in. 2013; WERYSZKO-CHMIELEWSKA & CHWIL 2010; NEWTON i in. 2013).

Autorów niniejszej pracy zainteresowało zagadnienie, które powiązane jest z rolą wskaźnikową *Galanthus nivalis* dla fenologicznej pory roku. Na dynamikę zmian fenologicznych na danym obszarze ma wpływ ogół warunków charakteryzujących środowisko w tym rejonie, jednakże sezonowa cykliczność fenofaz w największym stopniu podlega wpływowi

temperatury (GUIDELINES 2009). Dlatego też głównym celem niniejszego opracowania jest odpowiedź na pytania: 1) jakie temperatury umożliwiają rozwój poszczególnych fenofaz *G. nivalis* w warunkach *in situ* oraz 2) czy istnieją różnice w długości trwania tych fenofaz w zróżnicowanych zbiorowiskach roślinnych.

#### TEREN BADAŃ I METODYKA

Wzniesienie Święty Krzyż leży w południowo-wschodniej części Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Według regionalizacji fizycznogeograficznej KONDRACKIEGO (2009) teren ten położony jest w mezoregionie Góry Świętokrzyskie (makroregion Wyżyna Kielecka, podprovincia Wyżyna Małopolska). Święty Krzyż jest drugim pod względem wysokości szczytem Łysogór, osiągającym 595 m n.p.m. Klimat Łysogór jest chłodniejszy i wilgotniejszy od klimatu obszarów otaczających pasmo. Średnia roczna temperatura powietrza na Świętym Krzyżu wynosi 5,8°C i jest niższa w porównaniu z otaczającymi go dolinami średnio o 1,5°C. Okres wegetacyjny w szczytowej partii wzniesień jest średnio o 25 dni krótszy niż w otaczających pasmo dolinach. Roczna suma opadów wynosi tam 800–850 mm i jest średnio o 150 mm wyższa niż u podnóża Łysogór (OLSZEWSKI i in. 2000). Suma roczna usłonecznienia rzeczywistego na Świętym Krzyżu wynosi 1580 godzin (OLSZEWSKI i in. 1992).

Wśród zbiorowisk leśnych badanego terenu największą powierzchnię zajmują lasy jodłowe oraz jodłowo-bukowe z domieszką klonu jaworu. Były one przedmiotem badań botaników od początków XX w. (DZIUBAŁTOWSKI 1928; DZIUBAŁTOWSKI & KOBENDZA 1934). Lasy te stanowią osobny zespół charakterystyczny dla obszaru Gór Świętokrzyskich – jodłowy bór świętokrzyski (SZAFFER 1972; DANIELEWICZ 2000), który aktualnie jest objęty monitoringiem przyrodniczym w ramach sieci Natura 2000 (kod siedliska 91PO) (LORENS 2010). Na północnych i południowych stokach Świętego Krzyża w kilku miejscach występują płaty żyznej buczyny karpackiej (DANIELEWICZ 2000; PODGÓRSKA i in. 2015). W okolicy Polany Bielnik stwierdzono także występowanie podzespołu niskiego grądu kokoryczowego (DANIELEWICZ 2000; BRÓZ & KAPUŚCIŃSKI 2000).

Na północnym stoku Świętego Krzyża znajduje się jedno z trzech znanych stanowisk *Galanthus nivalis* w Świętokrzyskim Parku Narodowym – dwa pozostałe to Bukowa Góra w Paśmie Klonowskim (np. MAS-SALSKI 1962) oraz Skarpa Zapusty w Paśmie Pokrzywiańskim (np. BRÓZ & PRZEMYSKI 1989). Stanowisko na Świętym Krzyżu zostało wybrane do niniejszych badań, ponieważ jest bardzo dobrze udokumentowane (m.in. ŻMUDA 1917; ZAREBA 1960; BRÓZ 1977; KAPUŚCIŃSKI 1980; PIWOWARSKI 2011b) oraz stosunkowo łatwo jest do niego dotrzeć (co nie jest bez znaczenia przy systematycznych badaniach ekologicznych).

Badania prowadzono w 2016 r., w trzech zróżnicowanych fitocenozach na północnym stoku wzniesienia Święty Krzyż: 1 – las liściasty położony „wyspowo” w obrębie Polany Bielnik, 2 – Polana Bielnik (teren otwarty), 3 – zwarte pasmo leśne otaczające polanę. W każdym zbiorowisku założono stałe poletko badawcze (FALIŃSKI 2001) o powierzchni 1 m<sup>2</sup> do systematycznych obserwacji fenologicznych *Galanthus nivalis*. Poszczególne poletka położone były w stosunkowo niedalekiej odległości od siebie (Ryc. 1).

Średnio raz w tygodniu (w czasie od 20 lutego do 23 maja) w obrębie każdego poletka zliczano wszystkie osobniki *Galanthus nivalis* i określano fazę fenologiczną każdego z nich (S<sub>1</sub> – faza spoczynku poprzedzającego rozwój, W – wegetatywna, P – pąków kwiatowych, K – kwitnienia, O – owoców niedojrzałych, R – owoców dojrzałych i wysypywania nasion, S<sub>2</sub> – faza spoczynku kończącego rozwój). W tym samym czasie w środku każdego poletka mierzono temperaturę gruntu na głębokości 10 cm przy użyciu termometru glebowego, a także temperaturę powietrza na wysokości 200 cm nad powierzchnią gruntu termometrem rtęciowym. W każdej fitocenozie, w której założono stałe poletko do badań fenologicznych *G. nivalis*, wykonano także zdjęcie fitosocjologiczne metodą Braun-Blanqueta (DZWONKO 2007) w celu scharakteryzowania jej składu florystycznego. Zdjęcia (o powierzchni 100 m<sup>2</sup>) rozmieszczone były tak, aby w środku każdego z nich znajdowało się stałe poletko. Wszystkie zdjęcia fitosocjologiczne wykonano pod koniec okresu obserwacji, żeby oprócz wciąż obecnego obiektu badań (*G. nivalis*), uchwycić jak największą liczbę gatunków występujących w danym zbiorowisku.



**Ryc. 1.** Rozmieszczenie jednorodnych płatów roślinności, w których wykonano zdjęcia fitosocjologiczne i założono stałe poletki, na północnym stoku wzniesienia Świąty Krzyż; 1–3 – numery trzech typów zbiorowisk roślinnych (<http://www.geoportal.gov.pl/>; zmienione)

**Fig. 1.** Distribution of homogenous patches of vegetation where phytosociological relevés were made and permanent plots were demarcated on the north slope of Świąty Krzyż Mt. 1–3 – numbers of three types of plant communities (<http://www.geoportal.gov.pl/>; changed)

Siłę związku pomiędzy temperaturą powietrza oraz temperaturą gruntu (zmieniającą się w ciągu cyklu obserwacji), a poszczególnymi fenofazami gatunku oszacowano za pomocą współczynników korelacji Spearmana ( $R_s$ ). Obliczone wartości uznano za istotne statystycznie przy  $p \leq 0,05$ .

Nazewnictwo gatunków przyjęto za MIRKIEM i in. (2002), a nazwy syntaksonów za MATUSZKIEWICZEM (2014). Analizy statystyczne wykonano przy pomocy pakietu STATISTICA 6.1 (STATSOFT 2003).

## WYNIKI BADAŃ

### Badany gatunek na tle fitosocjologicznej charakterystyki zbiorowisk

Na północnym stoku Świątego Krzyża *Galanthus nivalis* rósł w silnie zróżnicowanych fitocenozach, zarówno pod względem ich fizjonomii, jak i przynależności fitosocjologicznej.

Poletko 1 położone było w obrębie „wyspy” znajdującej się na Polanie Bielnik, na której rozwinęła się fitocenoza leśna nawiązująca swoim składem florystycznym do wielogatunkowego lasu zboczowego o charakterze górskim – zbiorowiska z podzwiazku *Lunario-Acerenion pseudoplatani*. Warstwę drzew w tej fitocenozie tworzył przede wszystkim *Acer pseudoplatanus* z domieszką *Fagus sylvatica*. W warstwie krzewów, zarówno wyższych (b1), jak i niższych (b2), największy ilościowy udział miała *Corylus avellana*. W runie najwyższe stopnie pokrycia, oprócz gatunków często występujących w różnego typu

zbiorowiskach mezofilnych lasów liściastych (np. *Anemone nemorosa* czy *Mercurialis perennis*), posiadały także gatunki nawiązujące do lasów łęgowych (np. *Ficaria verna*) oraz charakterystyczne dla podzwiązku *Lunario-Acerenion* (*Lunaria rediviva*). Skład florystyczny tej fitocenozy przedstawia poniższe zdjęcie fitosocjologiczne:

**Zdj. 1.** 13.05.2016 r., pow. 100 m<sup>2</sup>. a – 75%; b1 – 25%; b2 – 10%; c – 90%. ChAll. *Tilio-Acerion*: *Acer pseudoplatanus* 3/a, +/b1, +/b2, *Lunaria rediviva* 2/c, *Actaea spicata* +/c; ChAll. *Fagion*: *Fagus sylvatica* 2/a, +/b2; ChAll.: *Carpinion*: *Corylus avellana* 2/b1, 2/b2, *Stellaria holostea* +/c; ChAll. *Alno-Ulmion*: *Ficaria verna* 2/c, *Gagea lutea* +/c, *Geranium phaeum* +/c; ChO. *Fagetalia*: *Mercurialis perennis* 2/c, *Corydalis solida* 1/c, *Polygonatum multiflorum* 1/c, *Pulmonaria obscura* 1/c, *Asarum europaeum* +/c, *Astrantia major* +/c, *Dryopteris filix-mas* +/c, *Milium effusum* +/c, *Stachys sylvatica* +/c; ChCl. *Quercu-Fagetea*: *Acer platanoides* +/a, 2/b1, +/c, *Anemone nemorosa* 2/c, *Aegopodium podagraria* 1/c; Inne: *Abies alba* +/b1, +/b2, *Crataegus* sp. +/b1, +/b2, +/c; ***Galanthus nivalis* 2/c**, *Melandrium rubrum* +/c, *Lamium maculatum* +/c.

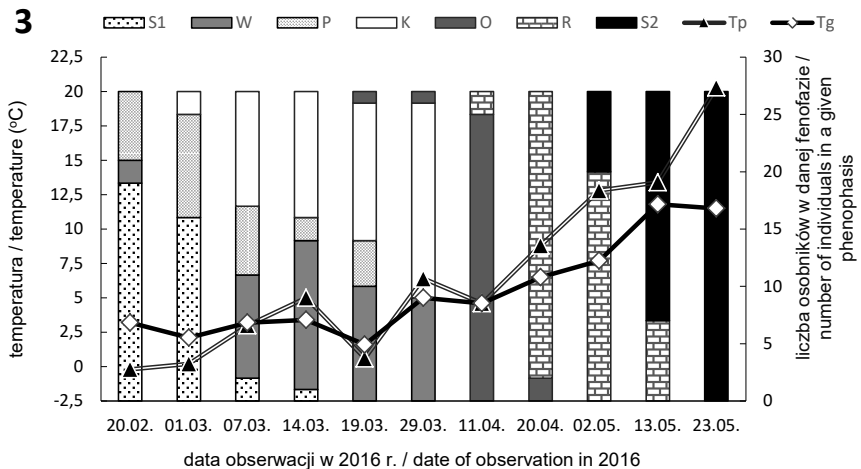
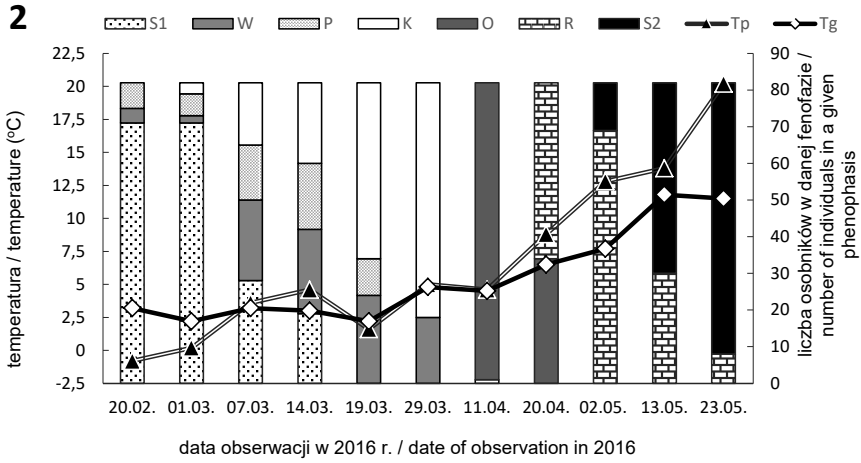
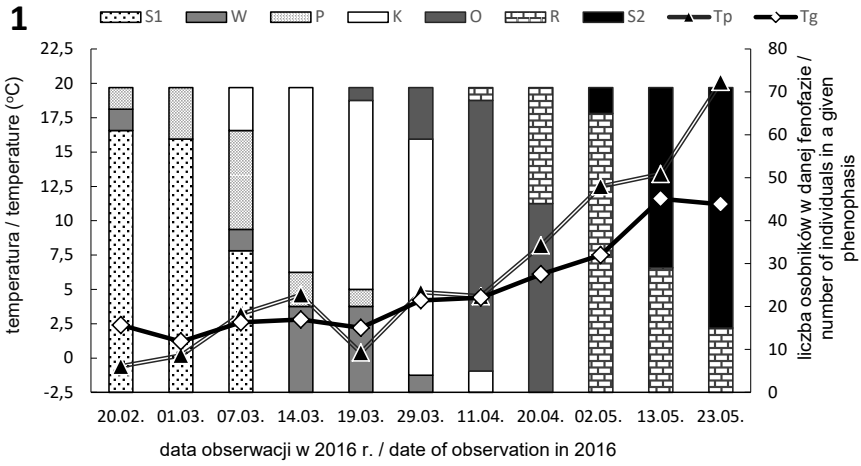
Fitocenoza, na której założono poletko 2 była jednowarstwowa (cała Polana Bielnik jest regularnie koszona). W zbiorowisku tym współwystępowały gatunki łąkowe z gatunkami charakterystycznymi dla mezofilnych lasów liściastych. Największe stopnie pokrycia spośród gatunków łąkowych posiadał *Alopecurus pratensis*, natomiast wśród gatunków leśnych dominował *Aegopodium podagraria*. Skład florystyczny tej fitocenozy przedstawia zdjęcie fitosocjologiczne nr 2.

**Zdj. 2.** 13.05.2016 r., pow. 100 m<sup>2</sup>. c – 100%: ChCl. *Molinio-Arrhenatheretea*: *Alopecurus pratensis* 3, *Cardamine pratensis* +, *Rumex acetosa* +; ChAll. *Alno-Ulmion*: *Ficaria verna* 1; ChO. *Fagetalia*: *Astrantia major* 1, *Corydalis solida* +; ChCl. *Quercu-Fagetea*: *Aegopodium podagraria* 2, *Pulmonaria mollis* 1, *Ranunculus auricomus* +; Inne: *Chaerophyllum aromaticum* 2, ***Galanthus nivalis* 2**, *Senecio nemorensis* 1, *Anthriscus sylvestris* +, *Cirsium arvense* +, *Cruciata glabra* +, *Galium aparine* +, *Rubus idaeus* +, *Urtica dioica* +, *Veronica officinalis* +, *Vicia sepium* +.

Ostatnie z poletek znajdowało się w płacie żyznej buczyny *Dentario glandulosae-Fagetum*, która otacza Polanę Bielnik od północnej strony. W drzewostanie tego zbiorowiska dominował *Fagus sylvatica* z domieszką *Acer pseudoplatanus* oraz *Carpinus betulus*. Warstwa krzewów była słabo rozwinięta. W runie ilościowo dominowały gatunki charakterystyczne dla rzędu *Fagetalia*. Pośród nich największy udział miały *Galeobdolon luteum* oraz *Milium effusum*. Skład florystyczny tej fitocenozy przedstawia zdjęcie fitosocjologiczne nr 3.

**Zdj. 3.** 13.05.2016 r., pow. 100 m<sup>2</sup>. a1 – 75%; a2 – 15%; b – 15%; c – 60%. ChAll. *Fagion*: *Fagus sylvatica* 3/a1, +/a2, +/b, *Dentaria glandulosa* 1/c; ChAll. *Tilio-Acerion*: *Acer pseudoplatanus* 2/a1, 2/a2, +/b, +/c, *Ulmus glabra* +/a1; ChAll. *Carpinion*: *Carpinus betulus* 1/a1, 2/a2, *Stellaria holostea* +/c; ChO. *Fagetalia*: *Galeobdolon luteum* 2/c, *Milium effusum* 2/c, *Asarum europaeum* +/c, *Dryopteris filix-mas* 1/c, *Polygonatum multiflorum* 1/c, *Corydalis solida* +/c; ChCl. *Quercu-Fagetea*: *Acer platanoides* +/c, *Anemone nemorosa* 1/c, *Poa nemoralis* +/c; Inne: *Abies alba* +/a1, 2/b, +/c, ***Galanthus nivalis* 2/c**, *Maianthemum bifolium* 1/c, *Athyrium filix-femina* +/c, *Dryopteris dilatata* +/c, *Hedera helix* +/c, *Oxalis acetosella* +/c, *Polygonatum verticillatum* +/c, *Rubus* sp. +/c, *Solidago virgaurea* +/c, *Sorbus aucuparia* +/c.

W zdjęciach fitosocjologicznych (zdjęcia 1–3), wykonanych w trzech różnych fitocenozach, *Galanthus nivalis* zajmował około 20% powierzchni badanych płatów i posiadał ten sam stopień / pokrycia (2 stopień), jednakże zagęszczenie jego osobników w 1 m<sup>2</sup> (na stałych poletkach badawczych) znacznie się różniło. Najwięcej osobników przypadających na 1 m<sup>2</sup> powierzchni stwierdzono na Polanie Bielnik (82 osobniki). Nieco mniej osobników zanotowano w lesie zboczowym (71 osobników), zaś najmniejszym zagęszczeniem cechowała się populacja w żyznej buczynie (27 osobników).



### Temperatura a fazy fenologiczne gatunku

*Galanthus nivalis* pojawił się na badanym terenie w drugiej połowie lutego. Na wszystkich poletkach w trakcie pierwszej obserwacji stwierdzono osobniki wegetatywne oraz generatywne w fazie pąków kwiatowych. Gatunek w tym czasie rozpoczynał swój rozwój, o czym świadczyły także niewielkie rozmiary obserwowanych roślin. Na wszystkich poletkach zmierzona temperatura powietrza wynosiła poniżej 0°C: od -0,8°C (poletko 2), przez -0,6°C (poletko 1) do -0,2°C (poletko 3). Temperatura gruntu, zmierzona w tym samym czasie, była nawet o kilka stopni wyższa i wynosiła od 2,4°C (poletko 1) do 3,2°C (poletko 2 i 3).

W dniu 1 marca zarówno w żyznej buczynie, jak i na poletku założonym na terenie otwartym w fitocenozie łąkowej, przy temperaturze gruntu powyżej 2°C, pojawiły się pierwsze osobniki w fazie kwitnienia. W lesie zboczowym kwitnące osobniki *Galanthus nivalis* pojawiły się po tygodniu (7 marca), gdy temperatura gruntu osiągnęła 2,6°C, przy temperaturze powietrza 3,2°C (Ryc. 2). Tam także *G. nivalis* najwcześniej zakończył fazę spoczynku S<sub>1</sub> (14 marca), przy temperaturze powietrza 4,6°C oraz temperaturze gruntu 2,8°C, osiągając tym samym maksimum swojej liczebności (71 osobników). W dwóch pozostałych zbiorowiskach (łąka i buczyna) gatunek osiągnął maksimum swojej liczebności po kolejnym tygodniu, kończąc tym samym fazę S<sub>1</sub> (Ryc. 2).

W zbiorowiskach leśnych (poletko 1 i 3) pierwsze osobniki owocujące (faza owoców niedojrzałych – O) zaobserwowano już 19 marca. Na terenie otwartym osobniki owocujące pojawiły się 11 kwietnia. Zanotowano wówczas masowe owocowanie gatunku – osobniki w fazie O stanowiły 99% wszystkich zliczonych roślin w obrębie poletka 2. W tym samym czasie, przy temperaturze powietrza oraz gruntu wynoszącej około 4,5°C, w zbiorowiskach leśnych rozpoczęła się już faza owoców dojrzałych i rozsiewania nasion (R). Na Polanie Bielnik (poletko 2) osobniki w fazie R zanotowano 20 kwietnia przy temperaturze gruntu wynoszącej 6,5°C.

We wszystkich zbiorowiskach pierwsze osobniki przechodzące w fazę spoczynku S<sub>2</sub> odnotowano 2 maja, przy temperaturze powietrza przekraczającej 12°C oraz temperaturze gruntu powyżej 7°C. Gatunek najszybciej (23 maja) skończył swój rozwój w żyznej buczynie (poletko 3). Stwierdzono wówczas 100% osobników z dojrzałymi torebkami na obumarłych pędach. Tego dnia na pozostałych poletkach obserwowano jeszcze osobniki w fazie R. Najwięcej było ich w lesie zboczowym (poletko 1). Zmierzona wówczas temperatura powietrza w obrębie wszystkich poletek przekraczała 20°C, a temperatura gruntu sięgała powyżej 11°C.

←

**Ryc. 2.** Czas trwania poszczególnych fenofaz *Galanthus nivalis* oraz ich związek z temperaturą powietrza (T<sub>p</sub>) i gruntu (T<sub>g</sub>) na stałych poletkach (1 – w lesie zboczowym, 2 – w zbiorowisku łąkowym, 3 – w żyznej buczynie); fenofazy: S<sub>1</sub> – spoczynku przed rozwojem, W – wegetatywna, P – pąków, K – kwitnienia, O – owoców niedojrzałych, R – owoców dojrzałych i wysypywania nasion, S<sub>2</sub> – spoczynku po zakończonym rozwoju

**Fig. 2.** Duration of respective phenophases of *Galanthus nivalis* and their relation to air temperature (T<sub>p</sub>) and ground temperature (T<sub>g</sub>) in permanent plots (1 – in the mountain slope forest, 2 – in the meadow community, 3 – in the fertile beech forest); phenophases: S<sub>1</sub> – dormancy before growth, W – vegetative, P – buds, K – blooming, O – immature fruits, R – mature fruits and scattering of seeds, S<sub>2</sub> – dormancy after growth

**Tabela 1.** Współczynnik korelacji Spearmana dla liczby osobników *Galanthus nivalis* w poszczególnych fenofazach obserwowanych w obrębie trzech stałych poletek i temperatury powietrza ( $T_p$ ) i gruntu ( $T_g$ ); 1–3 – numery poletek;  $S_1$ – $S_2$  – poszczególne fenofazy (objaśnienia patrz Ryc. 2)

**Table 1.** Spearman correlations between respective phenophases of *Galanthus nivalis* individuals observed within three permanent plots and air temperature ( $T_p$ ) and ground temperature ( $T_g$ ); 1–3 – numbers of plots;  $S_1$ – $S_2$  – respective phenophases (abbreviations as in Fig. 2)

Fenofazy (Phenophases)	1		2		3		Średnia (Average)	
	$T_p$	$T_g$	$T_p$	$T_g$	$T_p$	$T_g$	$T_p$	$T_g$
$S_1$	-0,7342 <sup>1</sup>	-0,6474 <sup>1</sup>	-0,7462 <sup>2</sup>	-0,6206 <sup>1</sup>	-0,7265 <sup>1</sup>	-0,6120 <sup>1</sup>	-0,7265 <sup>1</sup>	-0,6844 <sup>1</sup>
W	-0,7291 <sup>1</sup>	-0,8788 <sup>3</sup>	-0,6354 <sup>1</sup>	-0,7710 <sup>2</sup>	-0,4175 <sup>ns</sup>	-0,5604 <sup>ns</sup>	-0,5720 <sup>ns</sup>	-0,6674 <sup>1</sup>
P	-0,7336 <sup>1</sup>	-0,7980 <sup>2</sup>	-0,6930 <sup>1</sup>	-0,7917 <sup>2</sup>	-0,8499 <sup>3</sup>	-0,8568 <sup>3</sup>	-0,7336 <sup>1</sup>	-0,7980 <sup>2</sup>
K	-0,2428 <sup>ns</sup>	-0,3668 <sup>ns</sup>	-0,4157 <sup>ns</sup>	-0,6417 <sup>1</sup>	-0,3469 <sup>ns</sup>	-0,5539 <sup>ns</sup>	-0,4004 <sup>ns</sup>	-0,5339 <sup>ns</sup>
O	-0,0210 <sup>ns</sup>	0,0315 <sup>ns</sup>	0,0946 <sup>ns</sup>	0,1354 <sup>ns</sup>	-0,0422 <sup>ns</sup>	-0,0635 <sup>ns</sup>	-0,0210 <sup>ns</sup>	0,0105 <sup>ns</sup>
R	0,7782 <sup>2</sup>	0,8674 <sup>3</sup>	0,7703 <sup>2</sup>	0,7827 <sup>2</sup>	0,5054 <sup>ns</sup>	0,6015 <sup>ns</sup>	0,5159 <sup>ns</sup>	0,6106 <sup>1</sup>
$S_2$	0,7862 <sup>2</sup>	0,7746 <sup>2</sup>	0,7880 <sup>2</sup>	0,7782 <sup>2</sup>	0,7862 <sup>2</sup>	0,7764 <sup>2</sup>	0,7862 <sup>2</sup>	0,7746 <sup>2</sup>

<sup>1</sup>0,05  $\geq p \geq$  0,01; <sup>2</sup>0,01  $> p \geq$  0,001; <sup>3</sup>0,001  $> p \geq$  0,0001; <sup>ns</sup> – korelacja nieistotna statystycznie / non-significant correlation coefficient ( $p > 0,05$ ).

Uśredniając mierzone wartości z trzech poletek badawczych stwierdzono, iż rozwój *Galanthus nivalis* rozpoczął się przy ujemnych temperaturach powietrza, wynoszących średnio  $-0,5^\circ\text{C}$  oraz dodatnich temperaturach gruntu wynoszących średnio  $2,9^\circ\text{C}$ . Faza kwitnienia gatunku miała swój początek przy dodatnich temperaturach powietrza ( $T_{psr} = 4,7^\circ\text{C}$ ) i gruntu ( $T_{gsr} = 4,6^\circ\text{C}$ ), zaś faza owocowania przy średniej temperaturze powietrza równej  $7^\circ\text{C}$  oraz gruntu wynoszącej  $5,1^\circ\text{C}$ . Śnieżyczka przebiśnieg kończyła swój cykl życiowy przy średniej temperaturze powietrza wynoszącej  $20,2^\circ\text{C}$  oraz średniej temperaturze gruntu równej  $11,4^\circ\text{C}$ .

Analizując wartości temperatury powietrza oraz temperatury gruntu stwierdzono, że podczas dwóch pierwszych obserwacji (20 lutego oraz 1 marca) we wszystkich zbiorowiskach temperatura powietrza była wyraźnie niższa od temperatury gruntu. W czasie trwania kolejnych pięciu obserwacji (od 7 marca do 11 kwietnia), wartości obu temperatur były podobne oraz utrzymywały się na względnie stałym poziomie, wykazując niewielkie wahania, natomiast w trakcie trwania kolejnych czterech pomiarów (od 20 kwietnia do 23 maja) zaobserwowano wyraźny, systematyczny wzrost temperatury powietrza w stosunku do temperatury gruntu (Ryc. 2), co przekłada się na stwierdzone istotne statystycznie korelacje z poszczególnymi fenofazami gatunków (Tab. 1).

Na dwóch pierwszych poletkach stwierdzono istotne statystycznie korelacje negatywne pomiędzy fazami: spoczynku ( $S_1$ ), wegetatywną (W) oraz pąków kwiatowych (P) a temperaturą powietrza ( $T_p$ ) i temperaturą gruntu ( $T_g$ ) (Tab. 1). Zatem, im wyższa była temperatura ( $T_p$  i  $T_g$ ), tym mniej obserwowano osobników reprezentujących powyższe fenofazy na badanych poletkach. Natomiast w przypadku fazy owoców dojrzałych (R) oraz fazy spoczynku ( $S_2$ ) stwierdzono istotne statystycznie korelacje pozytywne zarówno z temperaturą powietrza, jak i temperaturą gruntu – im wyższe były mierzone temperatury, tym więcej pojawiało się osobników w fazie owoców dojrzałych oraz osobników przechodzących



w stan spoczynku. Na poletku 3, w żyznej buczynie, istotne statystycznie korelacje dotyczą tylko trzech fenofaz gatunku – fazy  $S_1$  oraz P (zarówno z temperaturą powietrza, jak i gruntu) – korelacje negatywne oraz fazy  $S_2$  – korelacja pozytywna (Tab. 1).

## DYSKUSJA

Poszczególne gatunki, odmiany, nawet osobniki roślin mają zróżnicowane wymagania termiczne (np. LU i in. 2006; JANKOWSKA-BŁASZCZUK & DAWS 2007; ZHANG i in. 2015). Różnice te przejawiają się szczególnie wyraźnie w odporności na ekstrema temperaturowe (GORDO & SANZ 2010; HATFIELD & PRUEGER 2015). Prawidłowy przebieg rozwoju roślin zależy nie tylko od temperatury powietrza, lecz także od temperatury podłoża i od stosunku tego czynnika w obu tych środowiskach (HERMAN 1959, 1962). Dla wielu gatunków roślin korzystniejsza jest wyższa temperatura podłoża niż powietrza (PAŁCZYŃSKI 1991). Na północnym stoku Świętego Krzyża *Galanthus nivalis* rozpoczął swoją vegetację przy ujemnych temperaturach powietrza, ale dodatnich temperaturach gruntu, przy czym różnica pomiędzy  $T_p$  a  $T_g$  wynosiła około  $3^{\circ}\text{C}$ . Zatem dla początkowych faz fenologicznych śnieżycy przebieśniej kluczowe znaczenie miała temperatura gruntu, której dodatnie wartości umożliwiły rozwój gatunku.

Jak dowiodły badania nad wpływem temperatury powietrza na początek kwitnienia *Galanthus nivalis* w północnych Niemczech (MAAK & VON STORCH 1997), przejście gatunku do fazy kwitnienia umożliwiały dodatnie temperatury utrzymujące się przez dłuższy czas w styczniu, lutym i marcu. Jednocześnie występujące w tym okresie temperatury ujemne skutecznie hamowały rozwój kwiatów. Przeprowadzone w 2016 r. badania na Świętym Krzyżu wskazują, iż najdelikatniejsze (pomimo wielu przystosowań – WERYSZKO-CHMIELEWSKA & CHWIL 2010, 2016), struktury rośliny – kwiaty, pojawiły się przy temperaturach powietrza bliskich  $0^{\circ}\text{C}$  oraz temperaturach gruntu przekraczających  $2^{\circ}\text{C}$ . W trakcie trwania fazy kwitnienia nie stwierdzono ujemnych temperatur, stąd też faza K na każdym z badanych stanowisk przebiegała dość równomiernie i nie zanotowano w trakcie jej trwania istotnych fluktuacji.

Najdłużej rozwój *Galanthus nivalis* trwał w zbiorowisku z podzwiazku *Lunario-Acerenion pseudoplatani*, występującym „wyspowo” na Polanie Bielnik. Faza kwitnienia gatunku na założonym tam poletku pojawiła się najpóźniej i trwała najdłużej – do połowy kwietnia, a w trakcie ostatniej obserwacji osobniki owocujące miały w nim największy udział – ponad 20% (na poletku 2 stanowiły niecałe 9,7%, na poletku 3 wszystkie osobniki skończyły już wówczas swój rozwój przechodząc w fazę  $S_2$ ). Zbiorowisko to stanowiło mikrosiedlisko, w którym średnie wartości temperatury powietrza ( $6,4^{\circ}\text{C}$ ) i gruntu ( $5,1^{\circ}\text{C}$ ) były niższe o  $0,4^{\circ}\text{C}$  od średnich temperatur mierzonych w pozostałych zbiorowiskach, co mogło wpłynąć na zwiększenie się długości poszczególnych fenofaz gatunku. Średnie wartości temperatur zmierzone w dwóch pozostałych zbiorowiskach były podobne i wynosiły odpowiednio  $6,8^{\circ}\text{C}$  oraz  $5,5^{\circ}\text{C}$ .

W zbiorowisku łąkowym stwierdzono największą dynamikę w rozwoju poszczególnych fenofaz gatunku. W trakcie dwóch pierwszych obserwacji na poletku badawczym pojawiło

się zaledwie 13% wszystkich osobników, pomimo odnotowania najwyższych wartości temperatur w jego obrębie. Na zjawisko to mogło mieć wpływ zaleganie dość grubej pokrywy śnieżnej i tworzące się silne podtopienia w pierwszych okresach obserwacji. 29 marca na poletku kwitnące okazy *Galanthus nivalis* stanowiły 78% wszystkich osobników, zaś 11 kwietnia 99% osobników było już w fazie owocowania. Bardzo szybkie przejście z fazy kwitnienia do fazy owocowania spowodowane było prawdopodobnie silnym usłonecznieniem badanej powierzchni (teren otwarty).

Najbardziej równomierny rozwój poszczególnych fenofaz gatunku obserwowano w lesie bukowym, w którym śnieżyczka przebiśnieg jako pierwsza zakończył swój rozwój. Mogło to być także związane ze stosunkowo niewielką liczbą osobników obserwowanych na założonym tam poletku badawczym.

Największe zależności wykazano pomiędzy poszczególnymi fenofazami *Galanthus nivalis* i temperaturą gruntu, z którą skorelowane były fenofazy S<sub>1</sub>, W, P (korelacje negatywne) oraz R i S<sub>2</sub> (korelacje pozytywne). Natomiast z temperaturą powietrza skorelowane były fazy S<sub>1</sub> i P (korelacja negatywna) oraz faza S<sub>2</sub> (korelacja pozytywna). Zatem tylko faza kwitnienia i faza owoców niedojrzałych nie wykazywały istotnej statystycznie korelacji z mierzoną temperaturą. Przyczyną tego zjawiska było to, że zarówno faza kwitnienia, jak i faza owoców niedojrzałych w głównej mierze przypadły w czasie, w którym obserwowano niewielkie zmiany, zarówno w mierzonej temperaturze powietrza, jak i temperaturze gruntu. Pozostałe fenofazy wystąpiły w okresie, podczas którego zanotowano znaczne różnice w wartościach temperatur.

#### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

(1) Rozwój *Galanthus nivalis* na badanym obszarze był skorelowany z wiosennym wzrostem temperatury powietrza oraz gruntu, przy czym poszczególne fenofazy gatunku wykazywały zróżnicowanie w przywiązaniu do danych wartości temperatur.

(2) Rozwój śnieżyczki przebiśniegu rozpoczął się przy ujemnych temperaturach powietrza oraz dodatnich temperaturach gruntu. Faza kwitnienia gatunku oraz początek fazy owoców niedojrzałych przypadły na względną stabilizację zarówno temperatury powietrza, jak i temperatury gruntu. Rozwój osobników w fazie owoców dojrzałych oraz fazie obumierania skorelowany był ze wzrostem obu temperatur.

(3) Od momentu pojawienia się pierwszych osobników gatunku aż do początku pory kwitnienia, średnia temperatura gruntu była wyższa o około 1°C od temperatury powietrza; w początkowej fazie owocowania wartości obu temperatur były zbliżone. Gdy na poletkach zwiększył się procentowy udział osobników w fazie owoców dojrzałych, aż do ostatniej obserwacji, wartości temperatury powietrza były dużo wyższe niż temperatury gruntu. Zatem można stwierdzić, iż dodatnie temperatury gruntu przede wszystkim decydowały o początku okresu rozwojowego gatunku, zaś wysokie temperatury powietrza o jego końcu.

(4) Długość trwania poszczególnych fenofaz w badanych zbiorowiskach roślinnych była zróżnicowana, podobnie jak mierzona temperatura powietrza oraz gruntu, pomimo tego, iż wszystkie te fitocenozy występowały na północnym stoku Świętego Krzyża w niedalekiej

odległości od siebie. Zaobserwowane różnice mają związek z lokalnymi mikrosiedliskami. Najdłużej poszczególne fenofazy trwały w zbiorowisku leśnym, położonym „wyspowo” na Polanie Bielnik (zbiorowisko z podzwiązku *Lunario-Acerenion pseudoplatani*), w którym notowano także najniższe temperatury powietrza i gruntu. Największą dynamikę rozwoju (szybkie przechodzenie dużej liczby osobników z jednej fazy w drugą) zaobserwowano na terenie otwartym, co związane było z silnym usłonecznieniem. Najbardziej równomierny rozwój poszczególnych fenofaz gatunku obserwowano w żyznej buczynie (*Dentario glandulosae-Fagetum*). W tym siedlisku *Galanthus nivalis* najwcześniej zakończył swój rozwój.

**Podziękowania.** Praca została sfinansowana ze środków Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach – BS nr 612075 oraz nr 612493.

#### LITERATURA

- ADAMCZYK P. 2013. Nowe stanowisko śnieżyczki przebiśniega *Galanthus nivalis* L. w Górach Świętokrzyskich. – Parki Narodowe i Rezerwy Przyrody **32**(2): 69–72.
- BRÓZ E. 1977. Notatki florystyczne z Gór Świętokrzyskich. Część I. – Fragmenta Floristica et Geobotanica **23**(3–4): 295–300.
- BRÓZ E. & KAPUŚCIŃSKI R. 2000. Przegląd flory roślin naczyniowych. – W: S. CIEŚLIŃSKI & A. KOWALKOWSKI (red.), Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego, s. 235–252. Świętokrzyski Park Narodowy, Bodzentyń – Kraków.
- BRÓZ E. & PRZEMYSKI A. 1989. Nowe stanowiska rzadkich gatunków roślin naczyniowych z lasów Wyżyny Środkowomłopolskiej. Część II. – Fragmenta Floristica et Geobotanica **34**(1–2): 15–25.
- BUDNIKOV G. & KRISFALUSY V. 1994. Bioecological study of *Galanthus nivalis* L. in the East Carpathians. – Thaiszia – Journal of Botany **4**: 49–75.
- CIOSEK M. T., HYS A. & SZEWCZYK P. 2009. A new locality of *Galanthus nivalis* (*Amaryllidaceae*) in the Nizina Południowopodlaska lowland (E Poland). – W: Z. MIREK & A. NIKEL (red.), Rare, relict and endangered plants and fungi in Poland, s. 143–148. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- CLELAND E. E., CHUINE I., MENZEL A., HAROLD A., MOONEY H. A. & SCHWARTZ M. D. 2007. Shifting plant phenology in response to global change. – Trends in Ecology and Evolution **22**(7): 357–365.
- DANIELEWICZ W. 2000. Zbiorowiska roślinne. – W: S. CIEŚLIŃSKI & A. KOWALKOWSKI (red.), Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego, s. 209–234. Świętokrzyski Park Narodowy, Bodzentyń – Kraków.
- DZIUBAŁTOWSKI S. 1928. Étude phytosociologique du Massif de Ste Croix. I. Les forêts de la partie centrale de la chaîne principale et des montagnes: „Stawiana” et „Miejska”. – Acta Societatis Botanicorum Poloniae **5**: 1–50.
- DZIUBAŁTOWSKI S. & KOBENDZA R. 1934. Badania fitosocjologiczne w Górach Świętokrzyskich. III: Zespoły roślin w pasmach Bielińskim i Jeleniowskim. – Acta Societatis Botanicorum Poloniae (Supplement) **11**: 217–246.
- DZWONKO Z. 2007. Przewodnik do badań fitosocjologicznych. s. 304. Sorus, Poznań – Kraków.
- FALIŃSKA K. 1997. Ekologia roślin. s. 334. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- FALIŃSKI J. B. 2001. Przewodnik do długoterminowych badań ekologicznych. Vademecum Geobotanicum. s. 672. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- GORDO O. & SANZ J. J. 2010. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. – *Global Change Biology* **16**: 1082–1106.
- GUIDELINES for Plant Phenological Observations 2009. WMO-TD N. 1484. World Climate Programme – World Climate Data and Monitoring Programme, WCDMP-No. 70.
- HATFIELD J. L. & PRUEGER J. H. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. – *Weather and Climate Extremes* **10**: 4–10.
- HERMAN K. 1959. Przyczynę do poznania klimatu gleby. – *Gazeta Obserwatora PIHM* **12**: 7–11.
- HERMAN K. 1962. Wpływ niskiej szaty roślinnej na przebieg temperatury gleby na głębokości 5 cm. – *Gazeta Obserwatora PIHM* **15**: 1–8.
- JABŁOŃSKA K. 2014. Wpływ zmian klimatu na fenologię wybranych roślin wskaźnikowych w Polsce. s. 1–129. Mskr. pracy doktorskiej, Wydział Biologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- JANKOWSKA-BŁASZCZUK M. & DAWS M. I. 2007. Impact of red: far red ratios on germination of temperate forest herbs in relation to shade tolerance, seed mass and persistence in the soil. – *Functional Ecology* **21**: 1055–1062.
- KAPUŚCIŃSKI R. 1980. Chronione gatunki roślin w Świętokrzyskim Parku Narodowym i w jego otulinie. – *Studia Kieleckie* **3(27)**: 21–32.
- KONDRACKI J. 2009. Geografia regionalna Polski. s. 441. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- KOSTUCH R. & MISZTAŁ A. 2008. Fenologia wybranych gatunków roślin kserotermicznych ze szczególnym uwzględnieniem fazy kwitnienia. – *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* **8**: 105–114.
- LORENS B. 2010. 91P0 Jodłowy bór świętokrzyski. – W: W. MRÓZ (red.), *Monitoring siedlisk przyrodniczych. Przewodnik metodyczny*, **1**, s. 270–283. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa.
- LU P. L., YU Q., LIU J. D. & HE Q. T. 2006. Effects of changes in spring temperature on flowering dates of woody plants across China. – *Botanical Studies* **47**: 153–161.
- MAAK K. & VON STORCH H. 1997. Statistical downscaling of monthly mean air temperature to the beginning of flowering of *Galanthus nivalis* L. in Northern Germany. – *International Journal of Biometeorology* **41**: 5–12.
- MASSALSKI E. 1962. Obrazy roślinności krainy Gór Świętokrzyskich. s. 120. Wydawnictwo Artystyczno-Graficzne, Kraków.
- MATUSZKIEWICZ W. 2014. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. s. 537. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- MIREK Z., PIĘKOŚ-MIRKOWA H., ZAJĄC A. & ZAJĄC M. 2002. Flowering plants and pteridophytes of Poland. A checklist. – W: Z. MIREK (red.), *Biodiversity of Poland*, **1**, s. 442. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- NEWTON R. S., HAY F. R. & ELLIS R. H. 2013. Seed development and maturation in early spring-flowering *Galanthus nivalis* and *Narcissus pseudonarcissus* continues post-shedding with little evidence of maturation in planta. – *Annals of Botany* **111**: 945–955.
- O'BRIEN P. J., ALLEN E. J., BEAN J. N., GRIFFITH R. L., JONES S. A. & JONES J. L. 1983. Accumulated day-degrees as a measure of physiological age and relationships with growth and yield in early potato varieties. – *Journal of Agricultural Science* **101**: 613–631.
- OBREBSKA-STARKŁOWA B. 1993. O badaniach fitofenologicznych w Galicji w XIX wieku na tle rozwoju fenologii w Europie. – *Przegląd Geofizyczny* **3–4**: 289–295.
- OLSZEWSKI J. L., SZALACH G. & ŻARNOWIECKI G. 2000. Klimat. – W: S. CIEŚLIŃSKI & A. KOWALKOWSKI (red.), *Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego*, s. 129–145. Świętokrzyski Park Narodowy, Bodzentyn – Kraków.

- OLSZEWSKI J. L., ŻARNOWIECKI G. & ZIMNY K. 1992. Usłonecznienie w Łysogórach. – Rocznik Świętokrzyski **19**: 139–144.
- PAŁCZYŃSKI A. 1991. Woda. – W: B. POLAKOWSKI (red.), Botanika, s. 534–548. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- PARMESAN C. & HANLEY M. E. 2015. Plants and climate change: complexities and surprises. – Annals of Botany **116**: 849–864.
- PIWOWARSKI B. 2011a. Nowe stanowisko śnieżyczki przebiśniega *Galanthus nivalis* L. na Wyżynie Małopolskiej. – Przegląd Przyrodniczy **22**(4): 102–106.
- PIWOWARSKI B. 2011b. Śnieżyczka przebiśnieg *Galanthus nivalis* L. w Świętokrzyskim Parku Narodowym. – Parki Narodowe i Rezerваты Przyrody **30**(3–4): 41–54.
- PISKORZ R. & KLIMKO M. 2002. Fenologia *Impatiens parviflora* DC. w silnie prześwietlonym grądzie środkowoeuropejskim na lokalnym stanowisku w Wielkopolskim Parku Narodowym. – Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu **47**(5): 135–144.
- PODGÓRSKA M., KUŁAGOWSKA M. & WÓJCIK N. 2015. Monitoring populacji *Dentaria glandulosa* (*Brassicaceae*) w latach 2011–2014 na północnym stoku Świętego Krzyża (Góry Świętokrzyskie, Wyżyna Małopolska). – Monitoring Środowiska Przyrodniczego **17**: 63–68.
- ROSEMARY J., NEWTON R. J., HAY F. R., RICHARD H. & ELLIS R. H. 2013. Seed development and maturation in early spring-flowering *Galanthus nivalis* and *Narcissus pseudonarcissus* continues post-shedding with little evidence of maturation in planta. – Annals of Botany **111**: 945–955.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej roślin (Dz. U. 2014, poz. 1409).
- RYKACZEWSKA K. 2013. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. – American Journal of Plant Sciences **4**(12): 2386–2393.
- SAWICKA B. & KROCHMAL-MARCZAK B. 2005. Wpływ czynników agrometeorologicznych na długość faz rozwojowych bardzo wczesnych i wczesnych odmian ziemniaka. – Acta Agrophysica **6**(1): 225–236.
- STATSOFT 2003. STATISTICA (data analysis software system), version 6.1, StatSoft, Inc., Tulsa, OK.
- STRZELCZAK A. 2002. Historia fenologii. – Gazeta Obserwatora, IMGW **3**: 14–15.
- SZAFER W. 1922. O fenologicznych porach roku w Polsce. – Kosmos **47**(1–3): 371–411.
- SZAFER W. 1972. Szata roślinna Polski niżowej. – W: W. SZAFER & K. ZARZYCKI (red.), Szata roślinna Polski. **2**, s. 17–188. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- ZARZYCKI K., TRZCIŃSKA-TACIK H., RÓŻAŃSKI W., SZELĄG Z., WOLEK J. & KORZENIAK U. 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. – W: Z. MIREK (red.), Biodiversity of Poland **2**, s. 183. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- TOMASZEWSKA T. & RUTKOWSKI Z. 1999. Fenologiczne pory roku i ich zmienność w wieloleciu 1951–1990. – Materiały Badawcze Seria Meteorologia **28**: 1–39.
- WALUSIAK E. & WILK Ł. 2012. 1866 Śnieżyczka przebiśnieg *Galanthus nivalis* L. – W: J. PERZANOWSKA (red.), Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część III, s. 203–213. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa.
- WERYSZKO-CHMIELEWSKA E. & CHWIL M. 2010. Ecological adaptations of the floral structures of *Galanthus nivalis* L. – Acta Agrobotanica **63**(2): 41–49.
- WERYSZKO-CHMIELEWSKA E. & CHWIL M. 2016. Flowering biology and structure of floral nectaries in *Galanthus nivalis* L. – Acta Societatis Botanicorum Poloniae **85**(1): 3486.
- ZAJĄC A. & ZAJĄC M. 2001 (red.). Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych w Polsce. s. xii + 714. Nakładem Pracowni Chorologii Komputerowej Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.

- ZARĘBA R. 1960. Pióropusznik strusi i inne interesujące rośliny w Górach Świętokrzyskich. – *Chrońmy Przyrodę Ojczystą* **16**(1): 37–40.
- ZARZYCKI K., TRZCIŃSKA-TACIK H., RÓŻAŃSKI W., SZELĄG Z., WOŁEK J. & KORZENIAK U. 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. – W: Z. MIREK (red.), *Biodiversity of Poland*. **2**, s. 183. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- ZHANG H., YUAN W., LIU S. & DONG W. 2015. Divergent responses of leaf phenology to changing temperature among plant species and geographical regions. – *Ecosphere* **6**(12): 1–8.
- ŻMUDA A. 1917. Sprawozdanie z poszukiwań florystycznych w Łysogórach w r. 1909. – *Pamiętnik Fizjograficzny* **24**: 1–38.

## SUMMARY

The study examined the impact of temperature on the course of phenological phases of *Galanthus nivalis* (common snowdrop) in three types of plant communities growing on Święty Krzyż Mt. (Góry Świętokrzyskie Mts). The study was done in February–May 2016 on permanent plots on the north slope of the mountain (Fig. 1). Temperature (air –  $T_p$ ; ground –  $T_g$ ) was measured on every plot, and all individuals of studied species were counted, with a breakdown into particular phenophases ( $S_1$  – dormancy before growth; W – vegetative; P – buds; K – blooming; O – immature fruits R – mature fruits and scattering of seeds;  $S_2$  – dormancy after growth). Phytosociological relevés of every community were made by the Braun-Blanquet method. Correlation analyses were made to determine the relationships between the observed phenophases and  $T_p$  /  $T_g$ . Spearman correlation coefficient  $R_s$  was employed to measure the strength of the correlations (statistical significance:  $p < 0.05$ ).

Growth of *Galanthus nivalis* was correlated with the spring increase of air and ground temperature. Its growth began in sub-freezing air temperature (average  $T_p = -0.5^\circ\text{C}$ ) but above-freezing ground temperature (average  $T_g = 2.9^\circ\text{C}$ ). During the blooming phase both temperatures were above freezing. Those temperatures were quite similar and stable (average  $T_p = 4.7^\circ\text{C}$ ; average  $T_g = 4.6^\circ\text{C}$ ). The fruiting phase began at average  $T_p = 7^\circ\text{C}$  and average  $T_g = 5.1^\circ\text{C}$ . *Galanthus nivalis* terminated its growth at average  $T_p = 20.2^\circ\text{C}$  and average  $T_g = 11.4^\circ\text{C}$ .

Correlation analysis of the respective phenophases of *Galanthus nivalis* and the average values (averaged from three permanent plots) of air and ground temperature ( $T_p$  and  $T_g$ ) showed a higher correlation between phenophases and ground temperature (Tab. 1). Only three phenophases were correlated with  $T_p$ :  $S_1$ , P ( $R_s = -0.7265$  and  $R_s = -0.7336$ , respectively; negative correlations) and  $S_2$  ( $R_s = 0.7862$ ; positive correlation). Five phenophases were correlated with ground temperature (Tab. 1).

The air and ground temperature varied between the three plant communities of the three permanent plots (Figs 1 and 2), affecting the duration of individual phenophases of *Galanthus nivalis* and their differentiation in every permanent plot (Fig. 2); this effect was connected with the microhabitats. Temperature was lowest in the community of *Lunario-Acerenion pseudoplatani* (plot 1), and the respective phenophases of *G. nivalis* in this phytocoenosis lasted the longest. The greatest dynamics within phenophases were observed in meadow community (plot 2). In fertile beech forest *Dentario glandulosae-Fagetum* (plot 3) the development of the respective phenophases was the most regular, and *G. nivalis* have finished its growth earliest.

Above-freezing ground temperature triggered the growth of *Galanthus nivalis*, whereas high air temperature terminated its growth.

Wpłynęło: 01.06.2017 r.; przyjęto do druku: 03.11.2017 r.