

## Zmienność cech morfologicznych, wiosennego pędzenia pąków i kwitnienia świerka pospolitego (*Picea abies* [L.] Karst.) na plantacji nasiennej w Nadleśnictwie Bielsk

Variability of morphological features, bud burst and flowering of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in the seed orchard of the Bielsk Forest District

Sławomir Mioduszewski\*, Marek Rzońca

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

\*Tel. +48 22 7150476, e-mail: S.Mioduszewski@ibles.waw.pl

**Abstract.** The main aim of this paper was to characterize Norway spruce clones in terms of bud burst, flowering and morphological features. Observation and measurements were carried out in the Norway spruce seed orchard of the Bielsk Forest District in the north-eastern part of Poland.

The seed orchard was established in 1989 and consists of 428 grafts of over 37 trees from the Białowieża Primeval Forest. An assessment of bud burst, stem forking, stem form, crown width, branch thickness, vitality, flowering and fructification as well as diameter measurements was done in 2013 and 2014.

The results showed variability of morphological features among different clones as well as within individual clones. Differences among clones in spring bud development, stem form and branch thickness were statistically significant. Additionally, a positive correlation between male and female flowering was observed. The research also confirmed an influence of the healthiness of the grafts on seed production with trees in a weakened state producing more seeds.

**Keywords:** Norway spruce, grafts, seed production, quantitative traits, phenology, fructification, heritability

### 1. Wstęp

Świerk pospolity (*Picea abies* [L.] Karst.) należy do sekcji *Eupicea*, rodzaju *Picea* i rodziny *Pinaceae* (Seneta, Dolatowski 2009). Obok sosny ma istotne znaczenie gospodarcze, jest gatunkiem domieszkowym, a naturalne lite drzewostany tworzy w piętrze od 1000 do około 1500 m n.p.m. Jest gatunkiem bardzo zmiennym i polimorficznym. Spowodowane jest to jego naturalnym zasięgiem, rozciągającym się od północnej Skandynawii i Syberii aż do Europy Południowej. Zmienność wewnątrzgatunkowa świerka pospolitego określana jest głównie na podstawie badań proveniencyjnych, według których wyróżniono 13 regionów (Giertych 1977) o zróżnicowanych cechach dziedzicznych. Różnice pomiędzy proveniencjami widoczne są w formie korony, gałęzi, szyszek, kory i są zależne od warunków środowiskowych i czynników genetycznych.

Świerk pospolity jest drzewem osiagającym wysokość do 50 m i pierśnicę do 200 cm. Rośnie dobrze na stanowiskach słonecznych i półcienistych, chłodnych o dużej wilgotności po-

wietrza (Pirc 2006). Występuje głównie w północno-wschodniej części kraju oraz w górach i na pogórzu, stanowiąc wraz z bukiem i jodłą główny gatunek lasotwórczy południowej Polski.

Świerk jest gatunkiem narażonym na zmiany klimatyczne i związane z nimi anomalie pogodowe. Jako pierwszy zareagował na suszę na początku lat 90. XX wieku, czego następstwem było osłabienie jego drzewostanów. Po obniżeniu odporności drzewostanów automatycznie wystąpiły szkody spowodowane przez kornika, a w szczególności kornika druzkarza (*Ips typographus* L.).

W warunkach klimatycznych Polski obradza średnio co 3–5 lat, natomiast na obrzeżach swojego zasięgu (Skandynawia) co 11–12 lat (Tomanek 1966; Chałupka 1975). Obecnie czynniki abiotyczne i biotyczne wpływają niekorzystnie na obradzanie świerka, powodując zachwianie systematyczności produkcji nasion. Od lat 80. XX wieku urodzaj jest nieregularny i w północno-wschodniej części kraju dopisał w latach: 1980, 1981, 1992, 1993, 1998 (Kantorowicz 2000).

Niesystematyczne obradzanie nie zapewnia odpowiedniej ilości i jakości nasion, które zaspokoiłyby potrzeby szkółkarskie. Taka sytuacja wymusiła na przełomie lat 80. i 90. tworzenie plantacji nasiennych świerka. Pierwsze pisemne opracowanie, dotyczące tworzenia plantacji nasiennych drzew leśnych, zostało zawarte w „Programie doskonalenia gospodarki nasiennej i wdrażania osiągnięć leśnej genetyki stosowanej w Lasach Państwowych w okresie 1975–1990” (1975). Jednak praktyczne wyznaczenie zadań i celów selekcji drzew leśnych do realizacji w jednostkach Lasów Państwowych nastąpiło dopiero pod koniec lat 80. XX w. (Kocięcki 1988). Kontynuacją wszystkich realizowanych programów hodowli selekcyjnej drzew leśnych, także prowadzenia plantacji nasiennych jest wdrożony w 1991 r. „Program zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew leśnych w Polsce na lata 1991–2010” (Burzyński et al. 1993), znowelizowany w roku 2000 (Burzyński et al. 2000) oraz przedłużony o „Program zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew w Polsce na lata 2011–2035” (Barzdajn et al. 2009).

Celem pracy jest poznanie zmienności cech morfologicznych i fenologii (kwitnienia i wiosennego pędzenia) świerka pospolitego (*Picea abies* [L.] Karst.) oraz ich zależności na plantacji nasiennej, w oddz. 282w leśnictwa szkółkarsko-nasiennego Grabowiec w Nadleśnictwie Bielsk.

## 2. Materiały i metody

### Plantacja nasienne świerka

Zgodnie z regionalizacją przyrodniczo-leśną Nadleśnictwo Bielsk znajduje się prawie w całości w IV Krainie Mazowiecko-Podlaskiej, jedynie najbardziej wysunięte na północ tereny nadleśnictwa, położone w gminie Zabłudów (teren leśnictwa Pawły), należą do II Krainy Mazursko-Podlaskiej. Większość terenu nadleśnictwa leżąca w IV krainie zaliczono do 5. Dzielnicy Niziny Podlaskiej i Wysoczyzny Siedleckiej, mezoregionu „c” Wysoczyzny Bielskiej (Tramplera et al. 1986). Średnia roczna temperatura powietrza wynosi 6,8°C, wahając się od -35,4°C do 35,5°C, a średnie roczne opady 593 mm (Górniak 2000).

Plantacja nasienne świerka pospolitego została założona wiosną 1989 r. i znajduje się na terenie leśnictwa szkółkarsko-nasiennego w Grabowcu, w oddziale 282w, w obrębie Bielsk. Obejmuje gleby powstałe z glin zwałowych, piasków i żwirów lodowcowych, na których występuje siedlisko LMśw (PUL 2008). Powierzchnia z pozostałym terenem szkółki leśnej jest ogrodzona siatką metalową 2-metrowej wysokości. Na terenie obiektu znajduje się wegetatywne potomstwo 37 drzew matecznych, pochodzących z Puszczy Białowieskiej. Dane dotyczące drzew matecznych zostały zaczerpnięte z „Rejestru bazy nasiennej w Polsce” (1996) (tab. 1).

Plan rozmieszczenia szczepów opracowano w 1988 r. w Instytucie Badawczym Leśnictwa. Plantacja nasienne o po-

wierzchni 2,04 ha została podzielona na trzy kwatery o różnicowanej powierzchni, na których łącznie wysadzono 544 szczepy: I kwatery – 187 szczepów, II kwatery – 170, III kwatery – 187. Świerki sadzono w więźbie 6×6 m. Po przeprowadzonych w obiekcie cięciach rozluźniających zostało 428 szczepów, z których dwa uschły w 2013 r. (ryc. 1).

### Metody pomiaru

Prace terenowe na plantacji nasiennej świerka pospolitego przeprowadzono od maja do września 2013 r. i w kwietniu 2014 r. Przy pomiarach i opisach szczepów uwzględniono następujące cechy:

- pierśnicę w cm, z dokładnością do 0,5 cm,
- fazę fenologiczną wiosennego pędzenia (rozwoju pąków) wg skali (Kruttsch 1973):

- 0 – pąki uspione,
- 1 – początek nabrzmiewania pąków, szpilki pod pąkami zgięte na zewnątrz,
- 2 – pąki nabrzmiałe, jeszcze nieotwarte, barwy szarozielonej,
- 3 – pękające łuski pąków,
- 4 – początkowe wydłużanie szpilek, pąki podwójnej długości, szpilki niewyprostowane,
- 5 – pierwsze wyprostowanie szpilek, „pędzel malarski”,
- 6 – wydłużenie pędów, szpilki u podstawy niewyprostowane,
- 7 – różnicowanie pędów, szpilki u podstawy wyprostowane,
- 8 – wszystkie szpilki wyprostowane, rozwijające się nowe pąki, wydłużenie prawie całkowite.

Dla każdego szczepu określono fazę pędzenia (średnią wartość faz rozwojowych pąków), a następnie dla każdego klonu wyliczono wskaźnik pędzenia w kolejnym terminie obserwacyjnym ( $W_T$ ) (Sabor et al. 1999) jako średnią arytmetyczną faz rozwoju wszystkich osobników według wzoru:

$$W_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

gdzie:

- $n$  – liczebność osobników w pochodzeniu,
- $x_i$  – wartość średniej fazy pędzenia osobnika  $i$ .

Analizę zróżnicowania pędzenia wiosennego pomiędzy klonami świerka przeprowadzono na podstawie przeciętnych wskaźników pędzenia ( $W_p$ ) obliczonych w analizowanym sezonie wegetacyjnym ze wzoru:

$$W_p = \frac{1}{kn} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n x_i$$

gdzie:

- $k$  – liczba terminów obserwacyjnych,
- $n$  – liczebność osobników w pochodzeniu,
- $x_i$  – wartość średniej fazy pędzenia osobnika  $i$ .

Za późno pędzące uznano klony, których wskaźnik  $W_p$  ma wartość mniejszą od średniej ( $\bar{x}$ ) dla wszystkich klonów rosnących na plantacji nasiennej. Natomiast za wcześnie pędzące uznano te klony, których wartości wskaźnika  $W_p$  są większe od średniej:

**Tabela 1. Charakterystyka świerka (*Picea abies* [L.] Karst.) z Puszczy Białowieżskiej wykorzystanego w 1989 r. do założenia plantacji nasiennej w oddz. 282w Nadleśnictwa Bielsk**Table 1. Characteristic of the Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) plus trees from the Białowieża Primeval Forest used in 1989 to establish the seed orchard in the compartment 282w of the Bielsk Forest District

Lp. No.	Nr drzewa wg. IBL Tree No. Acc. IBL	Rok uznania Year of acceptance	Nadleśnictwo Forest District	Obręb Precinct	Leśnictwo Forest Range	Oddział Com- partment	Wiek Age	Wysokość Height [m]	Pierśnica Diameter [cm]	Wskaźnik jakości / masy Index of the quality / thicknes
1	3130		<b>brak danych / no data</b>							
2	3396	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	448Da	120	38	63	A <sup>+</sup> B
3	3397	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	36	58	A <sup>+</sup> B
4	3398	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Cc	120	38	58	a B
5	3399	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Cc	120	38	54	a b
6	3400	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Cb	120	38	60	A B
7	3401	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	37	63	A <sup>+</sup> B
8	3402	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	38	53	A b
9	3403	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	36	54	A <sup>+</sup> B
10	3415	1985	Hajnówka	Leśna	Judzianka	461Cd	90	34	54	A b
11	3416	1985	Hajnówka	Hajnówka	Wilczy Jar	419Dd	130	37	52	a b
12	3417	1985	Hajnówka	Hajnówka	Wilczy Jar	419Dd	130	37	68	a b
13	3419	1985	Hajnówka	Starzyna	Słobódka	663Ab	130	36	74	A B
14	3420	1985	Hajnówka	Starzyna	Słobódka	663Cb	130	35	58	A b
15	3421	1985	Hajnówka	Starzyna	Słobódka	695Af	140	35	56	A b
16	3422	1985	Hajnówka	Starzyna	Słobódka	663Da	130	35	56	a b
17	3423	1985	Hajnówka	Starzyna	Topiło	666Ad	140	35	62	A B
18	3424	1985	Hajnówka	Starzyna	Topiło	663Cd	160	34	84	a B
19	3425	1985	Hajnówka	Starzyna	Topiło	669Dd	150	36	84	a B
20	3426	1985	Hajnówka	Starzyna	Topiło	669Dd	150	36	67	A b
21	3429	1985	Browsk	Browsk	Loniczyno	52Ab	110	30	64	a b
22	3430	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	149Bc	140	32	50	a b
23	3431	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	149Bc	140	31	49	A b
24	3432	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	150Bd	130	32	66	A B
25	3433	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	150Bd	130	32	53	A b
26	3434	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	150Bd	130	32	52	A b
27	3435	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	149Da	130	34	54	A b
28	3448	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	35	44	A b
29	3449	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	39	49	A b
30	3450	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	40	67	a B
31	3451	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	38	58	a b
32	3452	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	36	60	a B
33	3453	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	448Da	120	36	53	A b
34	3454	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ab	130	38	65	a B
35	3455	1985	Białowieża	Białowieża	Batorówka	447Ac	120	36	78	a B
36	3456	1985	Białowieża	Białowieża	Batorówka	447Bf	110	34	60	A <sup>+</sup> b
37	3458		<b>brak danych / no data</b>							

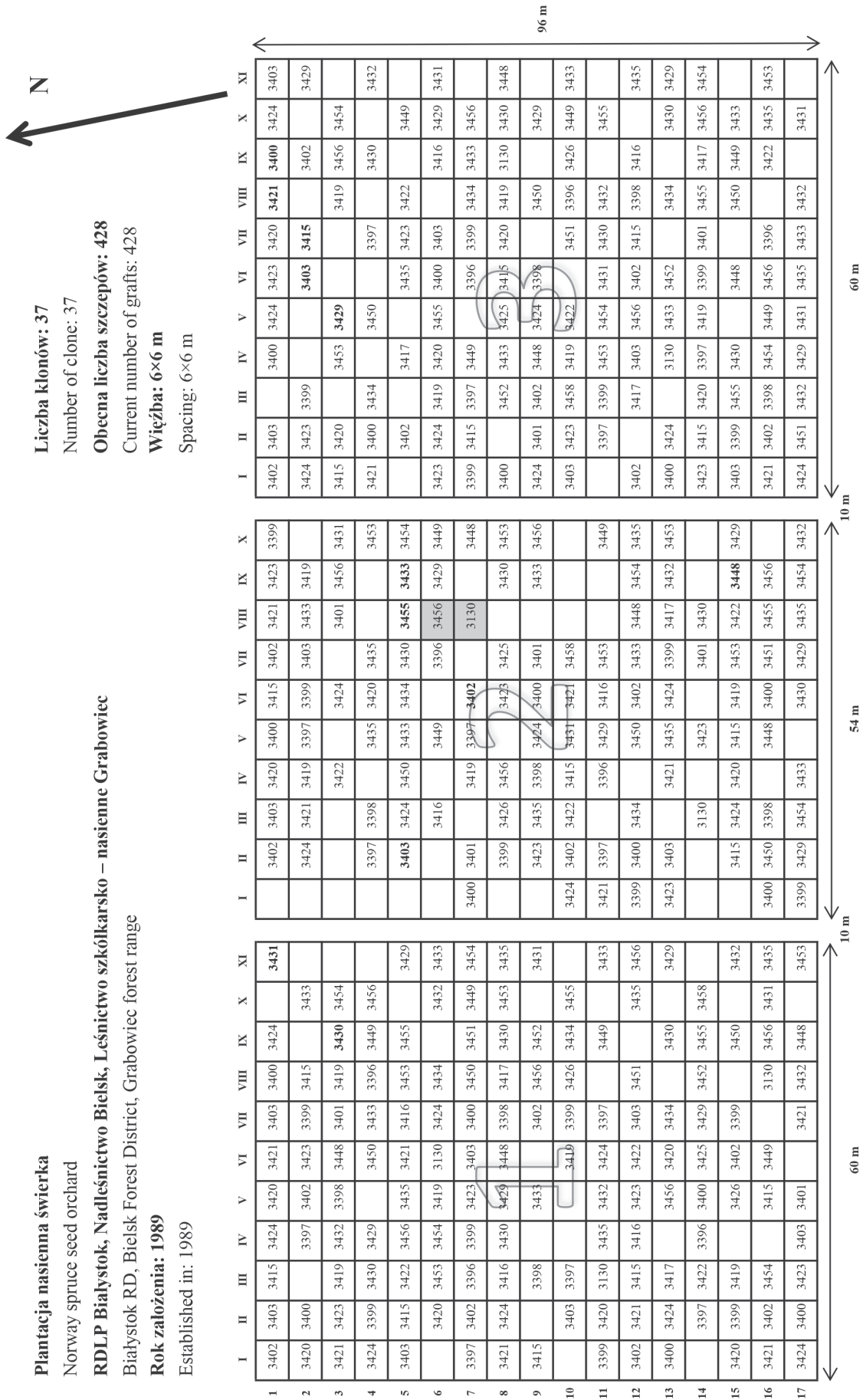
A<sup>+</sup> – drzewo bardzo dobrej jakości / very good quality

A – drzewo dobrej jakości / good quality

a – drzewo o jakości lepszej niż przeciętne / better quality than average tree

B – drzewo dobrze przyrastające, o pierśnicy i wysokości o 10% lub więcej większej niż u drzew porównawczych / good growth tree, with diameter and height greater over 10% than comparative tree

b – drzewo o pierśnicy i wysokości zbliżonej do przeciętnej drzewostanu / diameter and height similar to average tree



**Rycina 1. Rozmieszczenie klonów świerka pospolitego (*Picea abies* [L.] Karst.) na plantacji nasiennej w oddz. 282w Nadleśnictwa Bielsk, na dzień 15 września 2013 roku**  
Figure 1. Distribution of the Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) clones in a seed orchard in compartment 282w of the Bielsk Forest District, on 15th September 2013

3403 – szereg z szyszkami / graft with cones,

█ – wypad / fall out graft

- rozwidlenia strzały – ocena szacunkowa wg skali:
  - 1 – strzała z przewodnikiem prawidłowym,
  - 2 – przewodnik wyrastający z bocznego pędu,
  - 3 – strzała rozwidlona (2 przewodniki),
  - 4 – strzała bez przewodnika.
- prostota strzały – ocena szacunkowa wg skali:
  - 1 – strzała całkowicie prosta,
  - 2 – strzała z 1 lub 2 małymi skrzywieniami,
  - 3 – strzała z więcej niż 3 małymi skrzywieniami lub z przynajmniej 1 dużym.
- szerokość korony – ocena przez porównanie szerokości korony – „sz” do długości korony – „d”, wg następującej skali:
  - 1 – korona wąska ( $sz/d < 3/5$ ),
  - 2 – korona przeciętna ( $4/5 > sz/d \geq 3/5$ ),
  - 3 – korona szeroka ( $sz/d > 4/5$ ).
- grubość gałęzi – ocena w połowie wysokości korony przez porównanie z innymi koronami, wg skali:
  - 1 – gałęzie cienkie,
  - 2 – gałęzie średnie,
  - 3 – gałęzie grube.
- zdrowotność – ocena szacunkowa wg skali:
  - 1 – szczep zupełnie zdrowy,
  - 2 – szczep osłabiony, z lekką defoliacją i odbarwieniem igieł,
  - 3 – szczep chory, z silną defoliacją i odbarwieniem igieł.
- kwitnienie (osobno dla pylników i szyszek) – ocena szacunkowa wg skali:
  - 0 – brak pylników lub szyszeczek,
  - 1 – pylniki lub szyszeczek w liczbie kilku sztuk,
  - 2 – pylniki lub szyszeczek w liczbie kilkunastu sztuk,
  - 3 – drzewo obsypane pylnikami lub szyszeczkami.
- obradzanie:
  - 0 – brak szyszek,
  - 1 – szyszki w liczbie od 1 do 10 sztuk,
  - 2 – szyszki w liczbie od 11 do 20 sztuk,
  - 3 – liczba szyszek powyżej 20 szt.

### Analiza danych empirycznych

Wyniki pomiarów i obserwacji analizowano bez przekształceń matematycznych według następującego modelu doświadczenia:

$$\text{wartość cechy} = \mu + R_m + E_n$$

$\mu$  – średnia ogólna dla doświadczenia,

$R_m$  – wpływ klonu  $m$ ,

$E_n$  – wpływ drzewa  $n$  w klonie  $m$ .

Do obliczenia wariancji i komponentów wariancji wykorzystano język programowania statystycznego „R”. We wszystkich analizach przyjęto poziom istotności  $\alpha = 0,05$ . W modelu jako zmienną losową przyjęto wpływ klonu. Założono, że efekt bloku (kwatery) nie ma charakteru zmiennej losowej, dlatego nie uwzględniono go we wzorze na odziedziczalność.

Na podstawie otrzymanych komponentów wariancji obliczono odziedziczalność klonową i indywidualną według

wzorów przedstawionych poniżej (Giertych, Mąka 1994):

$$h_c^2 = \sigma_c^2 / \left( \frac{\sigma_E^2}{n} + \sigma_c^2 \right) \quad \text{odziedziczalność klonowa}$$

$$h_s^2 = 4 \sigma_c^2 / (\sigma_E^2 + \sigma_c^2) \quad \text{odziedziczalność indywidualna}$$

gdzie:

$\sigma_c^2$  – komponent wariancji klonowej,

$\sigma_E^2$  – komponent wariancji błędu,

$n$  – średnia liczba szczepów w klonie.

Znając odziedziczalność cech, można ocenić wartość genetyczną potomstwa drzewa matecznego (klonu). Można to zrobić, obliczając tzw. wartość indeksową klonu ( $WR$ ). Wartość ta jest sumą wartości z badanych cech. Aby różne cechy można było sumować, powinny one zostać wyrażone we wspólnej jednostce. Podstawowy indeks zakłada, że wartość indeksową każdego osobnika da się przedstawić jako:

$$WR = w_1 h_c^2 P_1 + w_2 h_c^2 P_2 + \dots + w_n h_c^2 P_n$$

gdzie:

$w$  – współczynniki ważące znaczenie ekonomiczne tych cech,

$h$  – odziedziczalność dla każdej cechy,

$P$  – suma iloczynów mierzalnych wartości cech fenotypowych.

Obliczono także współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy wszystkimi analizowanymi cechami, przy przyjętym poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

## 3. Wyniki badań

### Fenologia rozwoju wiosennego

Fenologię, która stanowi podstawę określania odporności przymrozkowej, oceniono na podstawie charakterystyki terminu pędzenia. Ocenę przeprowadzono w trzech terminach w 2013 r. (8 maja, 4 czerwca i 4 lipca) oraz 30 kwietnia 2014 r. Na podstawie dwuletnich obserwacji stwierdzono zróżnicowanie wiosennego pędzenia między klonami, co potwierdziła analiza wariancji (tab. 2). Najwyższa istotność różnic występowała na początku rozwoju wiosennego, gdy cecha ta osiągała bardzo wysoką odziedziczalność klonową (tab. 2). Uzyskane wyniki rozwoju pąków w dwóch kolejnych latach, w terminach 8 maja 2013 r. i 30 kwietnia 2014 r., wykazały klony wcześniej i późno zaczynające vegetację. Początek wiosennego rozwoju szczepów w latach obserwacji był ze sobą silnie skorelowany (tab. 3). Do wcześniej zaczynających vegetację i stabilnych pod względem tej cechy klonów można zaliczyć numery 3417, 3435, a późno – 3400, 3448 (ryc. 2).

Występujące różnice rozwojowe szczepów w obrębie klonu były zauważalne w trzech terminach badań. Największe zróżnicowanie odnotowano w obserwacjach czerwcowych 2013 r., ze względu na liczbę występujących stopni rozwojowych (7 z 9 stopni). W obrębie jednego klonu występowały szczepy uśpione i kończące swój rozwój vegetacyjny, np.: 3399, 3402, 3403. Szczepy w klonach: 3426, 3424, 3396, 3397, 3398, 3401, 3416, 3422, 3431, 3433, 3434, 3450, 3451, 3452, 3454, 3458 charakteryzowały się małą zmiennością rozwoju pąków (ryc. 3).

**Tabela 2. Podsumowanie oddzierzalności, współczynnika zmienności i analizy wariancji cech szczepów świerka pospolitego**  
 Table 2. Summary of heritability, coefficient of variance, variance features of the Norway spruce grafts

Cecha / Feature	Wariancja klonowa / Clone variance	Wariancja błędu / Error variance	Oddzierzalność indywidualna / Individual heritability	Oddzierzalność klonowa / Clone heritability	Współczynnik zmienności / Coefficient of variance [%]	ANOVA (p)
Pierśnica / Diameter	1,8410	36,6470	0,191	0,366	28,41	0,0143*
Prostość strzały / Stem form	0,0549	0,3497	0,543	0,644	41,82	0,0000000476***
Szerokość korony Crown width	0,0046	0,4299	0,042	0,110	26,81	0,460000
Grubość gałęzi Branches thickness	0,0189	0,3275	0,218	0,399	27,51	0,00733**
Rozwidlenia / Forking	0,0190	0,5180	0,142	0,297	54,05	0,070900
Rozwój pąków 08.05.2013 Bud burst	0,0514	0,2165	0,768	0,732	52,58	0,00000000743***
Rozwój pąków 04.06.2013 Bud burst	0,0560	0,6749	0,307	0,489	12,59	0,00193**
Rozwój pąków 04.07.2013 Bud burst	0,0091	0,1834	0,188	0,362	5,54	0,0438*
Rozwój pąków 30.04.2014 Bud burst	0,2286	0,6221	1,075	0,726	51,16	0,00000000293***

Wskaźniki pędzenia ( $W_p$ ) określono na podstawie całorocznych obserwacji w 2013 r. Do późno i wcześnie zaczynających vegetację zaliczono odpowiednio 13 i 22 klony. Dwa klony o numerach 3422, 3424 nie zostały ujęte w żadnej grupie, gdyż ich wartość  $W_p$  była równa średniej, dla całej plantacji nasiennej (tab. 4).

### Rozwidlenia i prostość strzały

Obserwacje wykazały, że cechy jakościowe strzał drzew na planacji nasiennej są zadawalające przy osiągniętym współczynniku zmienności 54,05% rozwidlenia strzały (tab. 2). 331 szczepów (77,80%) posiadało strzałę z przewodnikiem, co świadczy o prawidłowym rozwoju, 4,90% populacji charakteryzowało się strzałą bez przewodnika. Przewodnik wyrastający z bocznego pędu miało 16,20% drzew, natomiast strzałę rozwidloną stwierdzono u 1,20% świerków. Na poziomie poszczególnych klonów średnia z oceny rozwidlenia przewodnika mieściła się w zakresie od 1,00 do 2,00. Za klony o najbardziej prawidłowej budowie uznano: 3396, 3425, 3426, 3433, 3452, 3454, 3456, 3458 (tab. 4). Analiza statystyczna nie potwierdziła istotnych różnic rozwidlenia pomiędzy klonami. Oddzierzalność indywidualna szczepów wyniosła 0,142, a oddzierzalność klonowa – 0,297 (tab. 2).

Z oceny prostości strzały wynika, że 284 (66,70%) osobników posiadało strzałę prostą, 107 (24,60%) wytworzyło strzałę z lekkimi skrzywieniami, zaś strzałę skrzywioną miało

37 świerków, czyli 8,70%. Na poziomie poszczególnych klonów średnia prostość strzały wahała się w zakresie od 1,00 do 2,30. Za klony o najbardziej prawidłowej budowie uznano: 3452, 3454, 3448, 3450, 3396 (tab. 4). Analiza wariancji potwierdziła zróżnicowanie prostości strzały pomiędzy klonami, przy osiągnięciu wysokiej wartości oddzierzalności klonowej (tab. 2).

### Szerokość korony i grubość gałęzi

Koronę wąską posiadało 45 świerków (10,60% populacji). W grupie osobników o koronach przeciętnych znajdowało się 141 szczepów (33,00%). Na plantacji dominowały świerki o koronach szerokich (242 sztuk, tj. 56,30%). Na poziomie klonów średnia szerokość korony wynosiła od 2,15 do 3,00 (tab. 4). Analiza statystyczna nie potwierdziła zróżnicowania szerokości korony pomiędzy klonami (tab. 2). Szerokość korony jest cechą najsilniej skorelowaną z grubością gałęzi i pierśnicą szczepów (0,598\*\*\*; 0,776\*\*\*) (tab. 3).

Na plantacji nasiennej w Nadleśnictwie Bielsk dominowały świerki o przeciętnej grubości gałęzi i stanowiły 64,30% ogółu. Liczba szczepów o gałęziach cienkich i grubych znajdowała się na podobnym poziomie, odpowiednio 14,20% i 21,50% drzew. Na poziomie poszczególnych klonów średnia z oceny grubości gałęzi mieściła się w granicach od 1,33 do 2,67. Za klony o ugałęzieniu najdrobniejszym uznano: 3458, zaś najgrubszym: 3421, 3425 (tab. 4). Analiza statystyczna wykazała istotne różnice grubości gałęzi pomiędzy

**Tabela 3. Fenotypowa korelacja badanych cech szczepów świerka pospolitego**

Table 3. Phenotype correlation of tested features of Norway spruce grafts

Cecha Characteristic	Prostość strzały (2013) / Stem form	Pierśnica (2013) / Diameter	Rozwój pąków 08.05.2013 / Bud burst	Rozwój pąków 04.06.2013 / Bud burst	Rozwój pąków 04.07.2013 / Bud burst	Rozwój pąków 30.04.2014 / Bud burst	Szerokość korony (2013) / Crown width
Prostość strzały (2013) / Stem straightness	x	-0,349***	0,074	0,013	0,039	0,072	-0,241***
Pierśnica (2013) / Diameter	-0,349***	x	0,027	0,124*	0,007	-0,03	0,776***
Rozwój pąków 08.05.2013 / Bud burst	0,074	0,027	x	0,400***	0,213***	0,630***	0,063
Rozwój pąków 04.06.2013 / Bud burst	0,013	0,124*	0,400***	x	0,510***	0,298***	0,226***
Rozwój pąków 04.07.2013 / Bud burst	0,039	0,007	0,213***	0,510***	x	0,183**	0,097*
Rozwój pąków 30.04.2014 / Bud burst	0,072	-0,03	0,630***	0,298***	0,183**	x	-0,041
Szerokość korony (2013) / Crown width	-0,241***	0,776***	0,063	0,226***	0,097*	-0,041	x
Grubość gałęzi (2013) / Branch thickness	-0,107	0,693***	0,069	0,222***	0,110*	-0,047	0,598***
Rozwidlenia (2013) / Forking	0,095*	-0,023	-0,038	-0,042	0,024	-0,022	-0,024
Kwitnienie męskie (2013) / Male flowering	0,113*	-0,190***	-0,236***	-0,324***	-0,078	-0,268***	-0,238***
Kwitnienie żeńskie (2013) / Female flowering	0,054	-0,162***	-0,230***	-0,425***	-0,196***	-0,236***	-0,216***
Kwitnienie męskie (2014) / Male flowering	-0,047	0,183**	-0,096	-0,016	0,064	-0,243***	0,082
Kwitnienie żeńskie (2014) / Female flowering	-0,02	-0,195**	-0,295***	-0,384***	-0,184**	-0,226***	-0,326***
Zdrowotność (2013) / Vitality	0,293***	-0,481***	-0,194***	-0,367***	-0,145**	-0,175**	-0,506***
Obrazanie (2013) / Fructification	0,083	-0,134**	-0,185***	-0,329***	-0,132**	-0,210***	-0,152**

klonami, przy osiągnięciu 0,399 odziedziczalności klonowej, 0,218 odziedziczalności indywidualnej i 27,51% współczynnika zmienności (tab. 2).

### Wartość indeksowa klonów

Na podstawie oceny prostości strzały, szerokości korony, grubości gałęzi określono wskaźnik wartości indeksowej klonów – *WR*. Do obliczeń zastosowano arkusz kalkulacyjny do oceny i wyznaczania cięć na plantacyjnych uprawach nasiennych i plantacjach nasiennych. Ze względu na założenia arkusza, tzn. minimum 10 szczepów w klonie, ocenie poddano 21 klonów.

Na podstawie otrzymanych wyników najwyższe wartości indeksu osiągnęły klony 3419, 3429, 3415, a najniższe 3424, 3421, 3453 (tab. 4). Uzyskane wyniki, oceniające wartość genetyczną klonów, należy uwzględnić przy planowaniu cięć. Szczepy z klonów o najniższych wartościach należy stopniowo usuwać na rzecz drzew o prawidłowej budowie, przy zachowaniu efektywnej liczby klonów.

### Kwitnienie i obrazanie

Ocenę kwitnienia szczepów przeprowadzono 16 maja 2013 r. i 30 kwietnia 2014 r. Pylniki wytwarzało od 6,10% do 47,12% szczepów, zależnie od roku przeprowadzenia ob-

Grubość gałęzi (2013) / Branch thickness	Rozwidle- nia (2013) / Forking	Kwitnie- nie męskie (2013) / Male flowering	Kwitnienie żeńskie (2013) / Female flowering	Kwitnie- nie męskie (2014) / Male flowering	Kwitnienie żeńskie (2014) / Female flowering	Zdrowot- ność (2013) / Vitality	Obradza- nie (2013) / Fructification
-0,107*	0,095*	0,113*	0,054	-0,047	-0,02	0,293***	0,083
0,693***	-0,023	-0,190***	-0,162***	0,183**	-0,195**	-0,481***	-0,134**
0,069	-0,038	-0,236***	-0,230***	-0,096	-0,295***	-0,194***	-0,185***
0,222***	-0,042	-0,324***	-0,425***	-0,016	-0,384***	-0,367***	-0,329***
0,110*	0,024	-0,078	-0,196***	0,064	-0,184**	-0,145**	-0,132**
-0,047	-0,022	-0,268***	-0,236***	-0,243***	-0,226***	-0,175**	-0,210***
0,598***	-0,024	-0,238***	-0,216***	0,082	-0,326***	-0,506***	-0,152**
x	0,045	-0,159***	-0,163***	0,239***	-0,214***	-0,424***	-0,126**
0,045	x	0,155**	0,162***	0,109	0,218***	0,168***	0,159***
-0,159***	0,155**	x	0,718***	0,227***	0,442***	0,453***	0,641***
-0,163***	0,162***	0,718***	x	0,173**	0,480***	0,370***	0,863***
0,239***	0,109	0,227***	0,173**	x	0,313***	0,045	
-0,214***	0,218***	0,442***	0,480***	0,313***	x	0,395***	
-0,424***	0,168***	0,453***	0,370***	0,045	0,395***	x	0,318***
-0,126**	0,159***	0,641***	0,863***	0,104	0,182**	0,318***	x

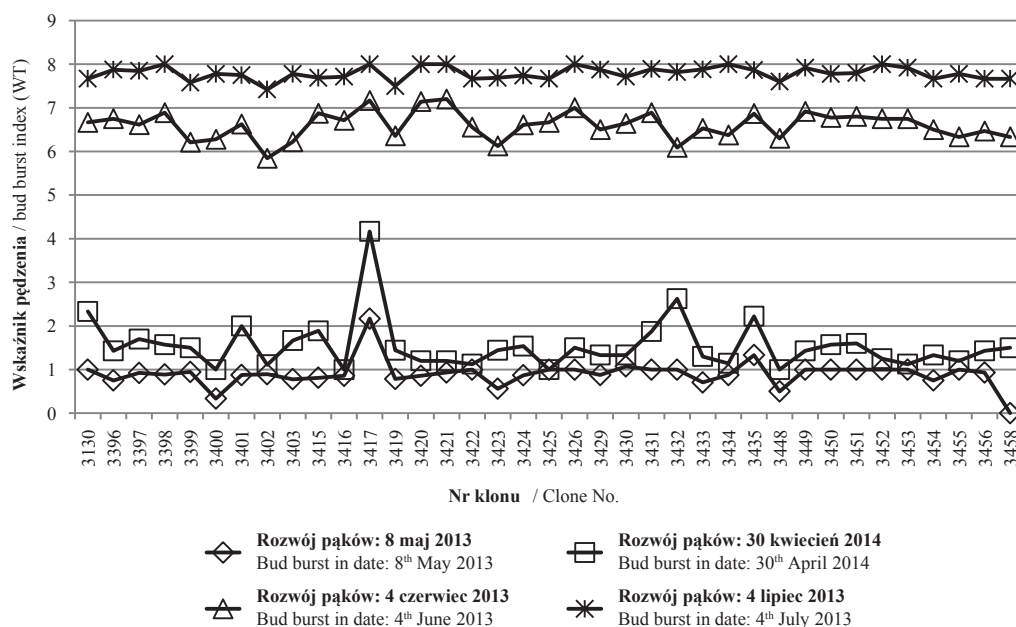
serwacji. W przypadku szyszeczek żeńskich liczba kwitnących szczepów mieściła się w zakresie od 4,23% w 2013 r. do 8,63% w 2014 r. (tab. 5). Na podstawie dwuletnich obserwacji wytwarzania kwiatów żeńskich i męskich uzyskano istotną statystycznie korelację między tymi cechami (tab. 3). Stwierdzono, że świerki uczestniczące w kwitnieniu produkują zarówno gamety żeńskie, jak i męskie.

Obradzanie na plantacji nasiennej oceniono 10 września 2013 r., gdy szyszki były w pełni wykształcone. Szyszki były małe (do ok. 10 cm) i osiągnęły rozmiary połowy szyszek przeciętnych rozmiarów. Szyszki zaobserwowano na 12 drzewach, czyli 2,80% wszystkich drzew. 414 (97,20%) szczepów nie produkowało nasion w analizowanym sezonie wegeta-

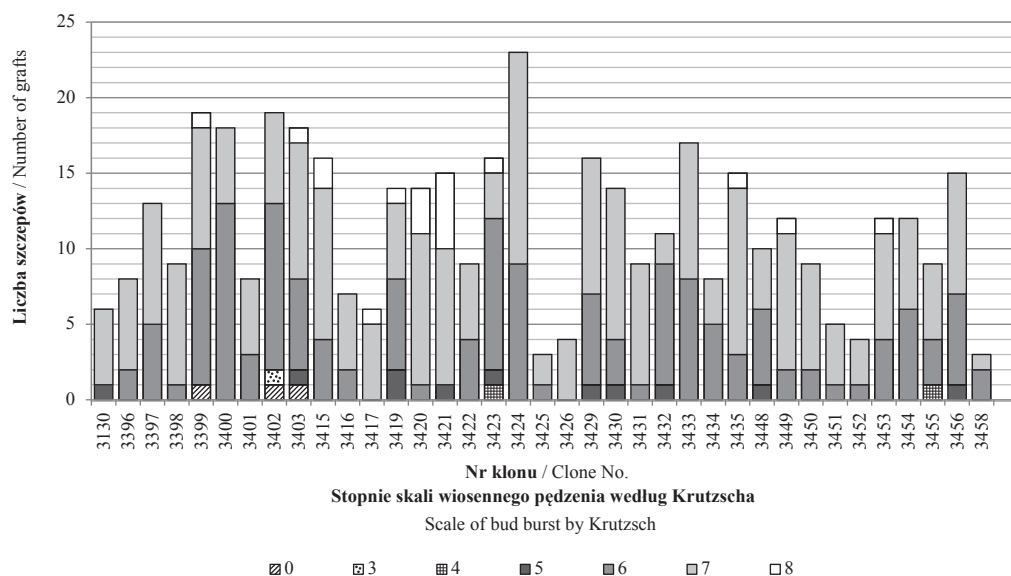
cyjnym. Na poziomie klonowym obrodziło 11 osobników, średnio szyszki obserwowano na pojedynczym szczepie.

### Zdrowotność

Ocenę zdrowotności wykonano 24 maja 2013 r. Kondycja zdrowotna świerków na plantacji nasiennej była zadowalająca. 381 osobników (89,40%) nie posiadało żadnych objawów chorobowych, ani przebarwień igieł. Na 13 świerkach (3,10% ogółu) przebarwienia igieł i ogólny stan drzew nie był dobry, wykazywały one silne uszkodzenia aparatu asymilacyjnego. Na poziomie poszczególnych klonów zdrowotność mieściła się w granicach od 1,00 do 1,67.



**Rycina 2. Wskaźniki pędzenia (WT) klonów w poszczególnych terminach obserwacyjnych w 2013 i 2014 roku**  
Figure 2. Coefficient of bud burst in the clones in different terms in 2013 and 2014



**Rycina 3. Zmienność wiosennego pędzenia pąków w obrębie klonów, na dzień 04.06.2013 roku**  
Figure 3. Variability of bud burst within the clones, on 4th June 2013

W klonach: 3130, 3398, 3417, 3422, 3425, 3431, 3434, 3449, 3450, 3452, 3454 zaobserwowano tylko w pełni zdrowe osobniki (tab. 4).

Na podstawie korelacji fenotypowych stwierdzono, że zdrowotność wykazuje silne powiązanie z pozostałymi cechami, z wyjątkiem kwitnienia męskiego w 2014 r. (tab. 3). W roku 2013 zdrowotność była silnie skorelowana z kwitnieniem męskim i żeńskim ( $0,453^{***}$ ;  $0,370^{***}$ ). Otrzymane współczynniki korelacji oznaczają, że w roku słabego urodzaju drzewa osłabione kwitły intensywniej w stosunku do szczepów w pełni zdrowych. Szczepy chore (ocenione na podstawie otrzymanych współczynników korelacji) charakteryzowały się węższymi koronami, cieńszymi gałęziami, gorszą prostością i rozwidleniami przewodnika.

#### 4. Podsumowanie i dyskusja

Świerk pospolity, jako gatunek narażony na zmiany klimatu i jeden z głównych gatunków lasotwórczych Polski, w szczególności jej części północno-wschodniej i południowej, wymaga działań ochronnych i selekcyjnych, w celu wyboru populacji i osobników o najlepszych cechach ilościowych i jakościowych.

Selekcja w Lasach Państwowych jest prowadzona w formie długoletnich programów, które tworzą wytyczne odnośnie do wyselekcjonowanych drzewostanów nasiennych, gospodarczych drzewostanów nasiennych, drzew mącznych oraz postępowania z leśnym materiałem podstawowym. W celu przekazania najlepszych genotypów potomstwu,

**Tabela 4. Podsumowanie cech morfologicznych i wartości genetycznej klonów świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) na plantacji nasiennej w Nadleśnictwie Bielsk**Table 4. Summary of morphological features and breeding index of the Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) clones in a seed orchard in the Bielsk Forest District

Lp. No.	Nr klonu Clone No.	Liczba szczepów Number of grafts	Pierśnica Diameter [cm]	Szerokość korony Crown width	Prostość strzały Stem straightness	Rozwidlenia Forking	Grubość gałęzi Branch thickness	Przeciętny wskaźnik pędzenia Bud burst Index ( $W_p$ )	WR Breeding Index
1	3130	6	22,33	2,5	1,17	1,17	1,83	5,11	
2	3396	8	23,06	2,5	1,13	1	2,13	5,13	
3	3397	13	18,92	2,15	1,38	1,62	2	5,13	0,21
4	3398	9	26,11	3	1,33	1,22	2,33	5,26	
5	3399	19	20,68	2,53	1,32	1,42	1,95	4,91	0,45
6	3400	18	19,35	2,39	1,39	1,11	1,94	4,8	0,30
7	3401	8	22,5	2,25	1,25	1,38	2,38	5,08	
8	3402	19	21,39	2,37	1,21	1,37	2,16	4,72	0,31
9	3403	18	20,22	2,28	1,61	1,22	1,89	4,93	-0,09
10	3415	16	17,27	2,38	1,38	1,56	1,81	5,13	0,56
11	3416	7	23,14	2,57	1,43	1,71	2	5,1	
12	3417	6	24,75	2,5	1,83	1,33	2,17	5,78	
13	3419	14	22,04	2,5	1,14	1,07	2	4,88	0,74
14	3420	14	22,71	2,5	1,29	1,5	2,07	5,33	0,30
15	3421	15	22,67	2,93	1,8	2	2,53	5,38	-1,64
16	3422	9	24,94	2,56	1,33	1,11	2,22	5,07	
17	3423	16	20,84	2,44	1,69	1,5	2	4,79	-0,45
18	3424	23	19,76	2,35	2,3	1,43	2,3	5,07	-2,33
19	3425	3	26,67	2,67	1,33	1	2,67	5,11	
20	3426	4	19,63	2,5	1,25	1	2	5,33	
21	3429	16	20,3	2,25	1,25	1,25	1,88	5,08	0,72
22	3430	14	20,38	2,57	1,36	1,29	1,93	5,14	0,40
23	3431	9	18,44	2,44	1,67	1,22	2	5,26	
24	3432	11	18,14	2,36	1,55	1,55	1,73	4,97	0,34
25	3433	17	22,74	2,35	1,24	1	2,06	5,04	0,43
26	3434	8	21,56	2,38	1,25	1,13	2,25	5,08	
27	3435	15	21,1	2,27	1,27	1,47	2,2	5,36	0,12
28	3448	10	24,55	2,7	1,1	1,5	2,2	4,8	0,48
29	3449	12	24,04	2,75	1,17	1,33	2,5	5,28	-0,19
30	3450	9	24,5	2,67	1,11	1,33	2,22	5,19	
31	3451	5	23,6	2,6	1,6	2	2,4	5,2	
32	3452	4	20,88	2,75	1	1	1,75	5,25	
33	3453	12	16,32	2,25	2	1,17	1,83	5,22	-0,84
34	3454	12	23,21	2,58	1,08	1	2,25	4,97	0,43
35	3455	9	20,44	2,67	1,22	1,67	2	5,04	
36	3456	15	19,47	2,2	1,4	1	1,93	5,02	0,29
37	3458	3	14,67	2,33	1,67	1	1,33	4,67	
<b>Średnia / Average</b>			<b>21,2</b>	<b>2,46</b>	<b>1,42</b>	<b>1,33</b>	<b>2,08</b>	<b>5,07</b>	<b>0,01</b>
<b>SD / Standard deviation</b>			<b>6,63</b>	<b>0,68</b>	<b>0,65</b>	<b>0,74</b>	<b>0,59</b>	<b>0,21</b>	<b>0,58</b>

**Tabela 5. Kwitnienie męskie i żeńskie klonów świerka pospolitego na plantacji nasiennej w Nadleśnictwie Bielsk**

Table 5. Male and female flowering of Norway Spruce clones in a seed orchard in the Bielsk Forest District

Kwitnienie / Flowering	2013	2014
<b>A</b>		
<b>Liczba klonów</b> Total number of clones	37	37
<b>Klony wytwarzające szyszcзки</b> Female flowering	14	16
	% 37,84%	43,24%
<b>Klony wytwarzające pylniki</b> Male flowering	20	36
	% 54,05%	97,30%
<b>B</b>		
<b>Liczba szczepów</b> Total number of grafts	426	278
<b>Szczepy wytwarzające szyszcзки</b> Female flowering	18	24
	% 4,23%	8,63%
<b>Szczepy wytwarzające pylniki</b> Male flowering	26	131
	% 6,10%	47,12%

nasiona i zrazy pozyskiwane są z osobników lub populacji wyselekcjonowanych, które posiadają najlepsze cechy fenotypowe. Plantacje nasienne zakładane są w celu ułatwienia zbioru odpowiedniej ilości nasion świerka, o wysokiej wartości genetycznej. Takie działania selekcyjne prowadzą do intensyfikacji produkcji leśnej, ograniczania wpływu czynników środowiskowych oraz zwiększenia oddziaływania czynników genetycznych. Ważnym elementem przy zakładaniu tego typu obiektów jest żyzność siedliska, która wpływa dodatnio na produkcję szyszek i nasion (Tyszkiewicz 1949; Załęski 1995; Boratyński, Bugała 1998; Buraczyk 2009). Innym sposobem zwiększania kwitnienia i obradzania świerka na plantacjach nasiennych może być stymulacja kwitnienia. W Polsce badania nad metodami stymulacji kwitnienia sosny i świerka prowadzone były przez Chałupkę (1985, 1987, 1991, 1997). Jednakże wyniki badań były niejednoznaczne i nie wskazały w pełni skutecznej metody stymulacji kwitnienia. Natomiast w Instytucie Badawczym Leśnictwa prowadzono badania nad metodami stymulacji kwitnienia modrzewia europejskiego (Markiewicz 2006), na ich podstawie stwierdzono, że obrączkowanie jest skuteczniejsze w roku słabego kwitnienia modrzewia, a największym wzrostem odznaczają się klony i rody naturalnie słabo kwitnące.

Dane zebrane w sezonach wegetacyjnych 2013 i 2014 r., dostarczyły informacji na temat zmienności, kwitnienia i obradzania wegetatywnego potomstwa drzew matecznych, wysadzonych w 1989 r. na plantacji nasiennej w Nadleśnictwie

Bielsk. Analiza cech morfologicznych pokazała ich zróżnicowanie pomiędzy klonami, które z wyjątkiem szerokości korony i rozwidleń strzały jest potwierdzone statystycznie. Otrzymane w przeprowadzonych badaniach wyniki analizy wariancji są zgodne z wynikami otrzymanymi przez Instytut Badawczy Leśnictwa, uzyskanymi przed wykonaniem cięć rozluźniających. W analizowanych w 2011 roku cechach (prostota strzały, szerokość korony, grubość gałęzi), poza szerokością korony, między klonami stwierdzono również istotne różnice. W roku 2011 odziedziczalność klonowa pod względem poszczególnych cech wynosiła odpowiednio: prostota strzały – 0,58; szerokość korony – 0,21; grubość gałęzi – 0,47. W analogicznych pomiarach z 2013 r. odziedziczalność osiągnęła następujące wartości: prostota strzały – 0,64; szerokość korony – 0,11; grubość gałęzi – 0,40. Zmienność badanych cech klonów jest potwierdzona i przyjmuje zbliżone wartości w kolejnych latach obserwacji, niezależnie od wykonujących pomiary obserwatorów.

Praca wykazała także zmienność fenologii rozwoju pąków w obrębie poszczególnych klonów, gdzie szczepy wykazują zróżnicowane stadia rozwojowe. Szczepy w jednym klonie posiadają ten sam genotyp, a rozwijają się w różnym tempie. Taka sytuacja znajduje potwierdzenie również w innych badaniach nad fenologią rozwoju wiosennego wegetatywnego potomstwa świerka (Szwajka 2011).

Obliczony wskaźnik  $W_p$  podzielił klony świerka na wczesnie i późno zaczynające wegetację, odpowiednio 13 i 22 klony. Dwa klony nie zostały zaliczone do żadnej grupy, gdyż ich wskaźnik  $W_p$  był równy średniej ogólnej. Wczesne rozpoczynanie wzrostu wiosennego jest groźne dla najmłodszych roślin, które w wypadku tego gatunku, na przestrzeniach otwartych są wrażliwe na przymrozki późne (Jaworski 1995). Zmienność pędzenia wiosennego między klonami wydaje się być ważnym aspektem, którego poznanie dostarczy informacji niezbędnych do podejmowania określonych decyzji gospodarczych dotyczących zarządzania plantacjami nasiennymi.

Lata 2013 i 2014, w których prowadzono badania, były dla Polski północno-wschodniej rokiem słabego urodzaju świerka. Na podstawie otrzymanych współczynników korelacji zdrowotności i kwitnienia żeńskiego (0,370\*\*\*, 0,395\*\*\*) potwierdzono założenia, że drzewa o osłabionej kondycji fizjologicznej w roku nieurodzaju liczniej przystępują do produkcji nasion w celu przekazania genów potomstwu (Tyszkiewicz 1949; Tomanek 1966; Boratyński, Bugała 1998).

Na plantacjach nasiennych kwitnienie kwiatów męskich i żeńskich jest na ogół ze sobą silnie skorelowane (Chałupka 1988), co znalazło potwierdzenie w otrzymanych współczynnikach korelacji ilości pylników względem ilości szyszczek żeńskich na szczepie, który w 2013 r. wyniósł 0,718\*\*\*. W 2014 r. współczynnik korelacji tych cech był znacznie niższy (0,313\*\*\*), co prawdopodobnie spowodowane było wczesnym terminem obserwacji (30 kwietnia), w którym część szyszczek żeńskich nie była jeszcze widoczna.

Uzyskane wyniki wskazują na dużą zmienność szczepów, klonów oraz złożoność procesu owocowania, a tym samym na potrzebę dalszych badań nad tym zagadnieniem. Szczegól-

ną rangę mają badania nad obradzaniem świerków, w okresie zmian klimatycznych i nieprzewidywalnych warunków pogodowych. Długookresowe obserwacje kwitnienia i produkcji nasion u świerka pospolitego na plantacjach nasiennych wskazują, że okresowość urodzaju ma podobny charakter do obserwowanego w dojrzałych drzewostanach (Dietrichson 1989, Nikkanen, Ruotsalainen 2000). Oceny owocowania drzewostanów świerkowych prowadzone w Puszczy Białowieskiej wykazują wyraźne zależności tej cechy od wysokości i grubości obradzającego drzewa (Buraczyk 2002). Innym ważnym potwierdzonym elementem (na podstawie długoletnich badań) jest zależność długości korony i produkcji nasion. Świerki w drzewostanach zbliżonych do naturalnych produkujące dużą ilość nasion muszą zachować względną długość korony powyżej 60% swojej wysokości (Buraczyk 2005). Długość korony jest to cecha niezmiernie ważna w obiektach, takich jak plantacje nasienne, których celem jest produkcja nasion, z uwzględnieniem zachowania ich wysokiej wartości genetycznej.

Podsumowując, należy podkreślić, że między klonami występuje silna zmienność, która powinna być uwzględniana podczas prowadzenia cięć rozluźniających. Szczepy z klonów o cechach najgorszych należy stopniowo usuwać na rzecz drzew o prawidłowej budowie. Ze względu na minimalną liczbę klonów na plantacjach, wykonywanie selekcyjnego cięcia rozluźniającego, prowadzącego do całkowitego usunięcia najgorszych klonów, nie jest możliwe. Prowadząc cięcia schematyczno-selekcyjne należy pamiętać, aby wykonywać je w określonych terminach, dostosowanych do więzby rozmieszczenia drzew, co jest często nieprzebrane przez zarządców tych obiektów. Opóźniony termin zabiegu prowadzi do ograniczenia i zahamowania rozwoju korony, co powoduje spadek produkcji nasion (Buraczyk 2006). Ustalenie relacji między długością korony i ilością produkowanych nasion powinno stanowić podstawę do opracowania zasad i wytycznych gospodarki, zwłaszcza dla stanowisk służących do produkcji nasion (Kantorowicz 2000).

## 5. Wnioski

1. Na plantacji nasiennej w Nadleśnictwie Bielsk klony świerka pospolitego charakteryzują się dużą zmiennością badanych cech, w przypadku fenologii rozwoju wiosennego pąków, prostości strzały i grubości gałęzi – potwierdzoną statystycznie.

2. Kwitnienie męskie i żeńskie świerka jest na ogół silnie, dodatnio ze sobą skorelowane, co potwierdzono w badaniach w 2013 roku.

3. W roku słabego urodzaju nasion licznie obradzają szczepy o osłabionej kondycji fizjologicznej.

4. Stwierdzono zróżnicowanie tempa rozwoju pąków pomiędzy różnymi szczepami należącymi do tego samego klonu.

## Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

## Podziękowania i źródła finansowania

Autorzy dziękują dr. hab. Janowi Kowalczykowi za udostępnienie arkusza kalkulacyjnego do oceny plantacji nasiennych oraz mgr. inż. Marcinowi Koniecznyńskiemu za udostępnienie wstępnych wyników analiz cech jakościowych klonów plantacji nasiennej w Nadleśnictwie Bielsk.

Niniejsze badania były wykonane w ramach pracy magisterskiej. Na wykonanie ich nie otrzymano żadnego dofinansowania.

## Literatura

- Barzdajn W., Błokowski S., Burczyk J., Chałupka W., Fonder W., Grądzki T., Gryzłó Z., Kacprzak P., Kowalczyk J., Kozioł Cz., Matras J., Pytko T., Rzońca Z., Sabor J., Szelaż Z., Tarasiuk S. 2009. Program zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew w Polsce na lata 2011-2035. Warszawa.
- Boratyński A., Bugała W. 1998. Biologia świerka pospolitego. Opracowanie zbiorowe, PAN Instytut Dendrologii.
- Buraczyk W. 2002. Wpływ grubości i wysokości świerków na ich owocowanie w Puszczy Białowieskiej. *Sylwan* 4: 25–33.
- Buraczyk W. 2005. Relation between crown length and seed production in Norway spruce trees (*Picea abies* [L.] Karst.). *Annals of Warsaw Agricultural University. Forestry and Wood Technology* 56: 76–86.
- Buraczyk W. 2006. Relation between social status and seed production in Norway spruce trees (*Picea abies* [L.] Karst.). *Annals of Warsaw Agricultural University. Forestry and Wood Technology* 60: 85–93.
- Burzyński G., Czart J., Fonder W., Korczyk A., Matras J. (kierownik zespołu), Puchniarski T., Tomczyk A., Załęski A. 1993. Program zachowania zasobów leśnych i hodowli selekcyjnej drzew leśnych w Polsce na lata 1991-2010. DGLP, IBL, Warszawa.
- Burzyński G., Czart J., Fonder W., Korczyk A., Matras J. (kierownik zespołu), Puchniarski T., Tomczyk A., Załęski A. 2000. Program zachowania zasobów leśnych i hodowli selekcyjnej drzew leśnych w Polsce na lata 1991-2010. Wydanie II poprawione, Warszawa.
- Chałupka W. 1975. Wpływ czynników klimatycznych na urodzaj szyszek u świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w Polsce. *Arboretum Kórnickie* 20: 213–225.
- Chałupka W. 1985. Regulacja kwitnienia na plantacjach nasiennych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.). PAN Instytut Dendrologii, Kórnik. Rozprawa habilitacyjna.
- Chałupka W. 1987. Stimulation of flowering in Scots pine (*Pinus sylvestris*) grafts by gibberellin injection. *Forest Ecology and Management* 19: 177–181. DOI:10.1016/0378-1127(87)90024-7.
- Chałupka W. 1988. Kwitnienie i zamieranie szczepów na modelowej plantacji nasiennej świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w Kórniku. *Arboretum Kórnickie* 23: 127–157.
- Chałupka W. 1991. Effect of GA<sub>4/7</sub> on flowering of pruned and unpruned seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Arboretum Kórnickie* 36: 43–59.
- Chałupka W. 1997. Carry-over effect of gibberellins (GA<sub>4/7</sub>) and ringing on female flowering in Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings. *Annals of Forest Science* 54: 237–241. DOI: 10.1051/forest:19970302.

- Dietrichson J. 1989. Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) seed production in orchards. Experiences from Norway. Proc. IUFRO WP S2.02. – 11. Mtg. On Norway Spruce Provanances, Breeding and Genetic Conservation, Sweden 1988. Eds. L. G. Stener and M. Werner, Inst. För Skogsförbättring, Uppsala, Rap. 11: 167 – 188.
- Giertych M. 1977. Genetyka, w: Świerk pospolity. *Picea abies* (L.) Karst. Nasze drzewa leśne. PWN Warszawa – Poznań, 287–331.
- Giertych M., Mąka A. 1994. Ocena indeksowa dziewięcioletnich rodów sosny (*Pinus sylvestris* L.) z kontrolowanych krzyżówek. *Arboretum Kórnickie* 33: 87–107.
- Gómiak A. 2000. Klimat województwa podlaskiego. Białystok, IMGW.
- Jaworski A. 1995. Charakterystyka hodowlana drzew leśnych. Gutenberg, Kraków.
- Kantorowicz W. 2000. Half a Century of Seed Years in Major Tree Species of Poland. *Silvae Genetica* 49(6): 245–249.
- Kocięcki S.T. 1988. Wytyczne w sprawie selekcji drzew na potrzeby nasiennictwa leśnego. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria B* 7: 1–61.
- Krutzsch P. 1973. Norway spruce. Development of buds. IUFRO S2.02.11. The Royal College of Forestry. Stockholm, Sweden.
- Markiewicz P. 2006. Wpływ zabiegów stymulacyjnych na kwitnienie i obradanie modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) na plantacjach nasiennych. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Nikkanen T., Rutosalainen S. 2000. Variation in flowering abundance and its impact on the genetic diversity of the seed crop in Norway spruce seed orchard. *Silva Fennica* 34(3): 205–222. DOI: 10.14214/sf.626.
- Pirc H. 2006. Drzewa od A do Z. Warszawa, Wyd. Klub dla Ciebie.
- Sabor J., Skrzyszewska K., Kulej M., Banach J. 1999. Rola obserwacji fenologicznych w genetyce populacyjnej drzew leśnych. Konferencja naukowa „Klimatyczne uwarunkowania życia lasu”. Zakopane 21–22 maj 1999, 105–113.
- Seneta W., Dolatowski J. 2009. Dendrologia. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Szwajka A. 2011. Zmienność szczepów na plantacji zachowawczej świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) H. Karst.) w Nadleśnictwie Oleszyce. Praca magisterska. Katedra Hodowli Lasu, Wydział Leśny, SGGW w Warszawie.
- Tomanek J. 1966. Botanika leśna. Warszawa, PWRiL.
- Trampler T., Dmyterko E., Girzda A. 1986. Przyrodniczo-leśna regionalizacja Polski. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria B* 5: 51–62.
- Tyszkiewicz S. 1949. Nasiennictwo leśne. Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Załęski A. 1995. Nasiennictwo leśnych drzew i krzewów iglastych. Wydawnictwo Świat, Warszawa, 180 s.

## Materiały źródłowe

- Program doskonalenia gospodarki nasiennej i wdrażania osiągnięć leśnej genetyki stosowanej w Lasach Państwowych w okresie 1975 – 1990. NZLP, Warszawa 1975. Maszynopis: 1 – 64.
- Rejestr bazy nasiennej w Polsce. 1996. Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Plan Urządzenia Lasu Nadleśnictwa Bielsk na okres 01.01.2009-31.12.2018. 2008. Białystok, Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej oddział w Białymstoku.

## Wkład autorów

- S.M. – koncepcja, zbieranie danych, przegląd literatury, opracowanie manuskryptu; M.R. – interpretacja statystyczna, korekta.

## Variability of morphological features, bud burst and flowering of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in the seed orchard of the Bielsk Forest District

Sławomir Mioduszeński\*, Marek Rzońca

Forest Research Institute, Department of Silviculture and Genetics of Forest Trees Śękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn, Poland

\*Tel. +48 22 7150476, e-mail: [S.Mioduszewski@ibles.waw.pl](mailto:S.Mioduszewski@ibles.waw.pl)

**Abstract.** The main aim of this paper was to characterize Norway spruce clones in terms of bud burst, flowering and morphological features. Observation and measurements were carried out in the Norway spruce seed orchard of the Bielsk Forest District in the north-eastern part of Poland. The seed orchard was established in 1989 and consists of 428 grafts of over 37 trees from the Białowieża Primeval Forest. An assessment of bud burst, stem forking, stem form, crown width, branch thickness, vitality, flowering and fructification as well as diameter measurements was done in 2013 and 2014. The results showed variability of morphological features among different clones as well as within individual clones. Differences among clones in spring bud development, stem form and branch thickness were statistically significant. Additionally, a positive correlation between male and female flowering was observed. The research also confirmed an influence of the healthiness of the grafts on seed production with trees in a weakened state producing more seeds.

**Keywords:** Norway spruce, grafts, seed production, quantitative traits, phenology, fructification, heritability

### 1. Introduction

Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) belongs to the section *Eupicea*, genus *Picea* and family *Pinaceae* (Seneta, Dolatowski 2009). In Poland, it is an important economic species, next to Scots pine and for the most part, occurs as an admixture species; however, at 1000–1500 m altitude, it forms pure stands. Norway spruce shows wide variability and polymorphism as a result of its natural range – from northern Scandinavia and Siberia to southern Europe. Intraspecific variation of Norway spruce in Poland has been investigated based mainly on provenance studies, which distinguished 13 regions with differentiated hereditary features (Giertych 1977). The differences between Norway spruce provenances depend on environmental and genetic factors and are reflected in the forms of tree crown, branches, cones and the bark observed in a given provenance.

In Poland, Norway spruce grows to 50 m tall with diameter at breast height (DBH) to 200 cm. It is shade tolerant and grows well in cool, sunny sites with high air humidity (Pirc 2006). In Poland, it occurs primarily in the northeastern part of the country

as well as in the south – in the highland and mountainous regions as the main forest-forming species, next to Scots pine and beech.

Norway spruce is vulnerable to climate change and associated weather anomalies. In the 1990s, it strongly responded to drought stress and as a result, Poland's spruce stands showed noticeably decreased health condition. Consequently, due to reduced resistance, many Norway spruce stands were damaged by bark beetles (especially *Ips typographus* L.).

On the edge of its range (Scandinavia), Norway spruce produces cones every 11–12 years, and under Poland's climatic conditions – every 3–5 years (Tomanek 1966; Chałupka 1975). Now, biotic and abiotic factors have detrimental effects on cone production, which results in imbalance of seed production. Since the 1980s, there have been observed irregular seed yields and, for example, in the northeastern part of the country, good cone and seed crops were observed only in the years 1980, 1981, 1992, 1993, 1998 (Kantorowicz 2000).

Unsystematic cone and seed yields of Norway spruce caused shortage of good quality seeds in Poland's forest nurseries, thus at the turn of the 1980s and 1990s, there were established Norway spruce seed orchards. The opening text

Received: 03.12.2014, reviewed: 28.01.2015, accepted after revision: 23.07.2015.

on the establishment of forest tree orchards was embraced in the programme on the improvement of seed management and the implementation of forest genetics achievements in the State Forests in the years 1975–1998 (1975). Nonetheless, only at the end of the 1980s, there were prepared the objectives and tasks on forest tree selection for practical realisation in State Forests' management units (Kocięcki 1988). All the preceding programmes on forest tree selection and seed orchards are reflected in the programme on conservation of forest genetic resources and selective breeding of forest trees in Poland for the years 1991–2010 (Burzyński *et al.* 1993), which was amended in 2000 (Burzyński *et al.* 2000) and extended with the programme on conservation of forest genetic resources and selective breeding of forest trees in Poland for the years 2011–2035 (Barzdajn *et al.* 2009).

The aim of the present study is to examine Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) phenology (bud burst and flowering) and morphological features as well as to investigate their relationships. The study was conducted in a seed orchard located in the Grabowiec Forest Division (management unit 282w), the Bielsk Forest District (northeastern Poland).

## 2. Materials and Methods

### Norway spruce seed orchard

According to Poland's system of natural-forest regionalisation, almost the entire area of the Bielsk Forest District is situated in the IV Mazowsze-Podlasie Region, and only the northern part of the District (the Pawły Forest Division in the Zabłudów municipality) belongs to the II Mazury-Podlasie region. A greater part of the Bielsk Forest District within the Mazowsze-Podlasie region is categorised as 5. District of the Podlasie lowland and the Siedlce highland, mesoregion 'c' of the Bielsk highland (Trampler *et al.* 1986). In this region, average air annual temperature is 6.8°C (from -35.4 to +35.5°C), and average annual precipitation is 593 mm (Górniak 2000).

The observed seed orchard was established in the spring 1989, within the area of the Forest Division Grabowiec, in the management unit 282w (the Bielsk sub-division). The seed orchard is situated within fresh deciduous mixed forest site (Forest Management Plan (PUL) 2008), on soils derived from glacial tills, sands and gravel. The area of the whole forest nursery is fenced (2-metre high metal gauze). Norway spruce seed orchard comprises vegetative progeny of 37 parent trees originating from the Białowieża Primeval Forest. Information on parental trees was obtained from the Polish Seed Register (1996) and is presented in Table. 1.

The map of Norway spruce distribution within the seed orchard was developed by the Forest Research Institute, Poland. Norway spruce seed orchard area is 2.04 ha and comprises 544

planted grafts. It is divided into 3 quarters with different areas: quarter no. 1–187 grafts, no. 2–170 and no. 3–187. Norway spruce trees were planted at 6 × 6 m density. After light felling, there remained 428 grafts and 2 of these died in 2013 (Fig. 1).

### Measurement methods

Field observations on Norway spruce grafts were conducted from May to September in 2013 and April 2014. The following tree features were examined:

- DBH [cm] to the nearest 0.5 cm,
- spring bud burst stage according to the scale described by Krutzsch (1973):
  - 0 – resting buds,
  - 1 – buds slightly swollen, needles below buds bent backwards and outwards,
  - 2 – buds swollen, green to grey green in colour, bud scales still closed,
  - 3 – burst of bud scales, needle tips emerging,
  - 4 – first elongation of needles to about double bud length,
  - 5 – first spread of needles, buds have the appearance of a painter's brush,
  - 6 – shoot elongation, basal needles not yet spread,
  - 7 – shoot differentiation, basal needles spread,
  - 8 – all needles spread, new buds developing, almost full elongation.

For each graft, there was determined the bud burst stage (the mean value of bud developmental stages). Next, the bud burst index in the subsequent observation term ( $W_T$ ) (Sabor *et al.* 1999) was calculated for each clone – as the arithmetic mean of developmental stage values of all the specimens, in accordance with the following equation:

$$W_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

where:

$n$  – the number of specimens of a given provenance

$x_i$  – value of mean bud burst stage of  $i$  specimen

The analysis of spring bud burst variability in Norway spruce clones was based on the average bud burst index ( $W_p$ ), calculated in the observed vegetation season using the following equation:

$$W_p = \frac{1}{kn} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n x_i$$

where:

$k$  – the number of observation terms,

$n$  – the number of specimens of a given provenance,

$x_i$  – value of mean bud burst stage of  $i$  specimen.

Norway spruce clones with  $W_p$  value lower than the mean ( $x$ ) of all the clones in the seed orchard were classified as late

**Table 1.** Characteristic of the Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) plus trees from the Białowieża Primeval Forest used in 1989 to establish the seed orchard in the compartment 282w of the Bielsk Forest District

No.	Tree No. Acc. IBL	Year of acceptance	Forest District	Precinct	Forest Range	Com- partment	Age	Height [m]	Diameter [cm]	Index of the quality / thickness
1	3130					no data				
2	3396	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	448Da	120	38	63	A <sup>+</sup> B
3	3397	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	36	58	A <sup>+</sup> B
4	3398	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Cc	120	38	58	a B
5	3399	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Cc	120	38	54	a b
6	3400	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Cb	120	38	60	A B
7	3401	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	37	63	A <sup>+</sup> B
8	3402	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	38	53	A b
9	3403	1984	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	36	54	A <sup>+</sup> B
10	3415	1985	Hajnówka	Leśna	Judzianka	461Cd	90	34	54	A b
11	3416	1985	Hajnówka	Hajnówka	Wilczy Jar	419Dd	130	37	52	a b
12	3417	1985	Hajnówka	Hajnówka	Wilczy Jar	419Dd	130	37	68	a b
13	3419	1985	Hajnówka	Starzyna	Słobódka	663Ab	130	36	74	A B
14	3420	1985	Hajnówka	Starzyna	Słobódka	663Cb	130	35	58	A b
15	3421	1985	Hajnówka	Starzyna	Słobódka	695Af	140	35	56	A b
16	3422	1985	Hajnówka	Starzyna	Słobódka	663Da	130	35	56	a b
17	3423	1985	Hajnówka	Starzyna	Topiło	666Ad	140	35	62	A B
18	3424	1985	Hajnówka	Starzyna	Topiło	663Cd	160	34	84	a B
19	3425	1985	Hajnówka	Starzyna	Topiło	669Dd	150	36	84	a B
20	3426	1985	Hajnówka	Starzyna	Topiło	669Dd	150	36	67	A b
21	3429	1985	Browsk	Browsk	Loniczyno	52Ab	110	30	64	a b
22	3430	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	149Bc	140	32	50	a b
23	3431	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	149Bc	140	31	49	A b
24	3432	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	150Bd	130	32	66	A B
25	3433	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	150Bd	130	32	53	A b
26	3434	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	150Bd	130	32	52	A b
27	3435	1985	Browsk	Narewka	Nowosady	149Da	130	34	54	A b
28	3448	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	35	44	A b
29	3449	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	39	49	A b
30	3450	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	40	67	a B
31	3451	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	38	58	a b
32	3452	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ca	120	36	60	a B
33	3453	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	448Da	120	36	53	A b
34	3454	1985	Białowieża	Białowieża	Krzyże	449Ab	130	38	65	a B
35	3455	1985	Białowieża	Białowieża	Batorówka	447Ac	120	36	78	a B
36	3456	1985	Białowieża	Białowieża	Batorówka	447Bf	110	34	60	A <sup>+</sup> b
37	3458					no data				

A<sup>+</sup> – very good quality

A – good quality

a – better quality than average tree

B – good growth tree, with diameter and height greater over 10% than comparative tree

b – diameter and height similar to average tree

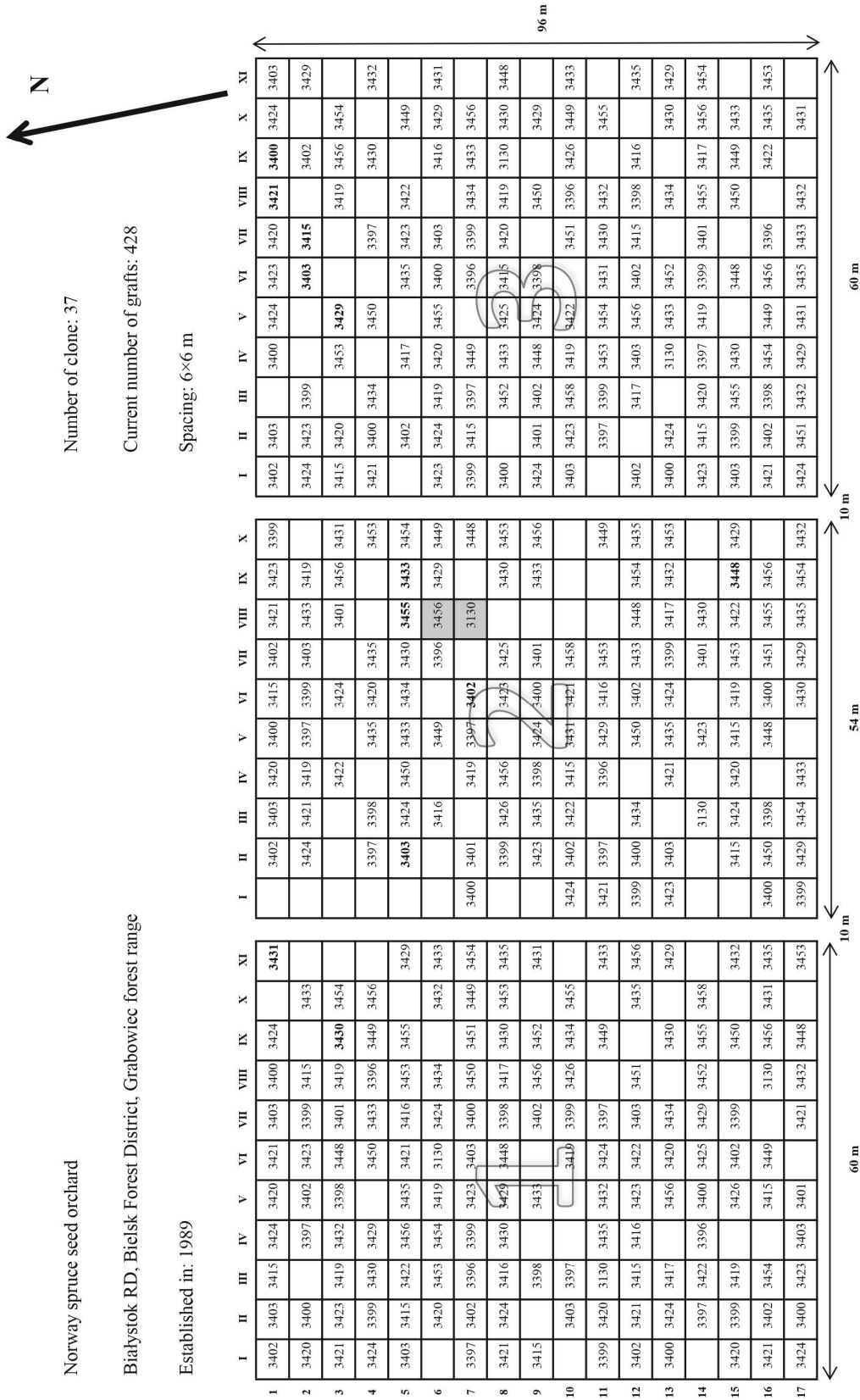


Figure 1. Distribution of the Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) clones in a seed orchard in compartment 282w of the Bielsk Forest District, on 15th September 2013

3403 – graft with cones  
 – fall out graft

bud burst clones. Early bud burst clones were those with  $W_p$  value higher than mean values obtained for the following morphological features:

- tree trunk ramification – estimated in accordance with the following point scale:

- 1 – the leader at the top of the trunk,
- 2 – the leader on the side shoot,
- 3 – forked tree trunk (two leaders),
- 4 – tree trunk without the leader.

- tree trunk straightness – estimated in accordance with the following point scale:

- 1 – entirely straight tree trunk,
- 2 – tree trunk with one or two minor contortions,
- 3 – tree trunk with more than three minor contortions or else – at least one extensive contortion.

- tree crown broadness – assessed based on the comparison of tree crown width ( $w$ ) with its length ( $l$ ), in accordance with the following point scale:

- 1 – narrow crown ( $w/l < 3/5$ ),
- 2 – regular crown ( $4/5 > w/l \geq 3/5$ ),
- 3 – broad crown ( $w/l > 4/5$ ).

- branch thickness – evaluated at the middle of crown height (judged against other tree crowns), in accordance with the following point scale:

- 1 – thin branches,
- 2 – medium thickness branches,
- 3 – thick branches.

- tree health – estimated in accordance with the following point scale:

- 1 – graft in perfect health,
- 2 – weakened graft, with minor defoliation and needle discolouration,
- 3 – diseased graft, with considerable defoliation and needle discolouration.

- flowering (male pollen cones and female cones separately) – estimated in accordance with the following point scale:

- 0 – no male pollen or female cones,
- 1 – several male pollen or female cones,
- 2 – more than a dozen male pollen or female cones,
- 3 – abundance of male pollen or female cones.

- cone production:

- 0 – no cones,
- 1 – 1–10 cones,
- 2 – 11–20 cones,
- 3 – more than 20 cones.

### Analysis of empirical data

The results of the measurements and observations were analysed with no mathematical transformations in accordance with the following experimental model:

$$\text{feature value} = \mu + R_m + E_n$$

where:

$\mu$  – the overall mean for the experiment

$R_m$  – the effect of the clone  $m$ ,

$E_n$  – the effect of tree  $n$  in clone  $m$

Calculations of variance and its components were performed using R programming language for statistical computing. All the tests were performed at  $\alpha = 0.05$ . The effect of the clone was treated as a random variable. It was assumed that the effect of the block (quarter) had no random variable character, and thus it was not included in the heritability model.

Clone and individual heritability was calculated based on the values of variance components, following the models presented below (Giertych, Mąka 1994):

$$h_c^2 = \sigma_c^2 / (\sigma_n^2 + \sigma_c^2) \quad \text{clone heritability}$$

$$h_s^2 = 4\sigma_c^2 / (\sigma_n^2 + \sigma_c^2) \quad \text{individual heritability}$$

where:

$\sigma_c^2$  – clone variance component

$\sigma_n^2$  – error variance component

$n$  – the mean number of grafts in a given clone.

Knowledge on heritability of a given feature allows for evaluation of the genetic value of the progeny of a given parent tree (clone). This can be done through calculation of the so-called clone index value ( $WR$ ), which is the sum of the values assigned to the features observed (summing up feature values requires same units assigned to the features). The basic index assumes that the index value for each specimen can be presented as:

$$WR = w_1 h_c 1^2 P_1 + w_2 h_c 2^2 P_2 + \dots + w_n h_c n^2 P_n$$

where:

$w$  – coefficients weighing economic importance of features,

$h$  – heritability of each feature,

$P$  – the sum of multiplication results obtained for measurable phenotype features

At the same time, the Pearson correlation coefficients between all the features analysed were computed ( $\alpha = 0.05$ ).

## 3. Results

### Phenology of spring development

Norway spruce phenology (also important in determination of frost resistance) was evaluated based on bud burst timing characteristics. The evaluation was conducted 3 times in 2013 (8 May, 4 June and 4 July) and once in 2014 (30 April). During 2-year observation period, there were found bud burst differences between the clones, which was confirmed by the analysis of variance (Table 2). The most significant differences were

**Table 2.** Summary of heritability, coefficient of variance, variance features of the Norway spruce grafts

Feature	Clone variance	Error variance	Individual heritability	Clone heritability	Coefficient of variance [%]	ANOVA (p)
Diameter	1.8410	36.6470	0.191	0.366	28.41	0.0143*
Stem form	0.0549	0.3497	0.543	0.644	41.82	0.0000000476***
Crown width	0.0046	0.4299	0.042	0.110	26.81	0.460000
Branches thickness	0.0189	0.3275	0.218	0.399	27.51	0.00733**
Forking	0.0190	0.5180	0.142	0.297	54.05	0.070900
Bud burst (May 08, 2013)	0.0514	0.2165	0.768	0.732	52.58	0.00000000743***
Bud burst (June 06, 2013)	0.0560	0.6749	0.307	0.489	12.59	0.00193**
Bud burst (July 04, 2013)	0.0091	0.1834	0.188	0.362	5.54	0.0438*
Bud burst (April 30, 2014)	0.2286	0.6221	1.075	0.726	51.16	0.00000000293***

observed at the beginning of spring development when bud burst reached very high clone heritability values (Table 2). The results on bud burst observed in 2 subsequent observation years (8 May 2013 and 30 April 2014) showed Norway spruce clones with early and late start of spring development. The beginning of spring development of Norway spruce grafts was strongly correlated with the observation years (Table 3). Norway spruce clones no. 3417 and 3435c were categorised as early start clones and stable regarding this feature, whereas clones 3400 and 3448 were categorised as late start clones (Fig. 2).

Developmental differences observed in grafts of a given clone were noticeable in three observation terms. The biggest variability was observed in June 2013, when seven of nine bud developmental stages (Kruttsch 1973) were observed. Within one clone, there were observed dormant grafts as well as those finishing their spring development, for example, no. 3399, 3402, 3403. The grafts within clones no.: 3426, 3424, 3396, 3397, 3398, 3401, 3416, 3422, 3431, 3433, 3434, 3450, 3451, 3452, 3454, 3458 showed minor bud burst variability (Fig. 3).

Bud burst indexes ( $W_p$ ) were determined based on the observations carried out in 2013. There were found 13 late start clones and 22 early start clones. Two clones (3422, 3424) were assigned to none of the above groups since their  $W_p$  value was same as the mean for the whole population in the seed orchard (Table 4).

### Tree trunk ramification and straightness

The results showed that in the seed orchard observed, tree trunk quality feature such as tree trunk ramification was satisfactory (coefficient of variation 54.05%) (Table 2). Three hundred thirty one grafts (77.80%) showed proper development

(tree trunks with the leader), and 4.90% of the population examined had tree trunks without the leader. The leader on the side shoot was observed in 16.20% of the trees examined and forked trunks were found in 1.20%. At a clone level, the average estimated values ranged from 1.00 to 2.00. Norway spruce clones no.: 3396, 3425, 3426, 3433, 3452, 3454, 3456, 3458 were classified as best in terms of appropriate shape (Table 4). Statistical analysis showed no significant differences in tree trunk ramification in the clones tested. Individual heritability was 0.142 and clone heritability – 0.297 (Table 2).

Evaluation of tree trunk straightness showed that 284 (66.70%) specimens had straight trunk, 107 (24.60%) trees – tree trunks with minor contortions and contorted trunks were observed in 37 (8.70%) Norway spruce trees. At a clone level, the average estimated values ranged from 1.00 to 2.30. Norway spruce clones no. 3452, 3454, 3448, 3450, 3396 were classified as best in terms of appropriate shape (Table 4). Analysis of variance confirmed variability of tree trunk straightness in the clones tested at high value obtained for clone heritability (Table 2).

### Crown broadness and branch thickness

Narrow tree crown was observed in 45 Norway spruces (10.60% of the population examined). Medium crowns were found in 141 grafts (33.00%). Norway spruces with broad crowns (242 specimens, 56.30%) dominated in the seed orchard examined. At a clone level, the mean crown broadness values ranged from 2.15 to 3.00 (Table 4). Statistical analysis showed no significant differences among the clones examined with regard to crown broadness (Table 2). Tree crown broadness was the feature most strongly correlated with tree branch thickness and DBH (0.598\*\*\*, 0.776\*\*\*, respectively) (Table 3).

**Table 3.** Phenotype correlation of tested features of Norway spruce grafts

Characteristic	Stem form (2013)	Diameter (2013)	Bud burst (May 08, 2013)	Bud burst (June 06, 2013)	Bud burst (July 04, 2013)	Bud burst (April 30, 2014)	Crown width (2013)
Stem form (2013)	x	-0.349***	0.074	0.013	0.039	0.072	-0.241***
Diameter	-0.349***	x	0.027	0.124*	0.007	-0.03	0.776***
Bud burst (May 08, 2013)	0.074	0.027	x	0.400***	0.213***	0.630***	0.063
Bud burst (June 06, 2013)	0.013	0.124*	0.400***	x	0.510***	0.298***	0.226***
Bud burst (July 04, 2013)	0.039	0.007	0.213***	0.510***	x	0.183**	0.097*
Bud burst (April 30, 2014)	0.072	-0.03	0.630***	0.298***	0.183**	x	-0.041
Crown width (2013)	-0.241***	0.776***	0.063	0.226***	0.097*	-0.041	x
Branches thickness (2013)	-0.107	0.693***	0.069	0.222***	0.110*	-0.047	0.598***
Forking (2013)	0.095*	-0.023	-0.038	-0.042	0.024	-0.022	-0.024
Male flowering (2013)	0.113*	-0.190***	-0.236***	-0.324***	-0.078	-0.268***	-0.238***
Female flowering (2013)	0.054	-0.162***	-0.230***	-0.425***	-0.196***	-0.236***	-0.216***
Male flowering (2014)	-0.047	0.183**	-0.096	-0.016	0.064	-0.243***	0.082
Female flowering (2014)	-0.02	-0.195**	-0.295***	-0.384***	-0.184**	-0.226***	-0.326***
Vitality (2013)	0.293***	-0.481***	-0.194***	-0.367***	-0.145**	-0.175**	-0.506***
Fructification (2013)	0.083	-0.134**	-0.185***	-0.329***	-0.132**	-0.210***	-0.152**

Within the seed orchard observed, there dominated Norway spruce trees with medium branch thickness (64.30%). The grafts with thin or thick branches constituted 14.20% and 21.50%, respectively. At a clone level, the mean estimated values of branch thickness ranged from 1.33 to 2.67. The finest branches were observed in the clone no. 3458 and the thickest in clones no. 3421 and 3425 (Table 4). Statistical analysis showed significant differences among the clones examined with regard to branch thickness. At the same time, clone heritability was 0.399, individual heritability was 0.218 and coefficient of variation was 27.51% (Table 2).

### Clone index value

The value of the clone index ( $WR$ ) was determined based on the estimates of tree trunk straightness, crown broadness and branch thickness. The calculations were performed using the calculation sheet for the assessment and designation of felling within seed orchards and seed-producing crops. Following the requirements of the calculation sheet (inclusion of at least 10 clones), 21 clones were used in calculations.

The obtained results showed the highest index values for the clones 3419, 3429, 3415, and the lowest for 3424, 3421, 3453

(Table 4). The results represent genetic value of the clones and should be taken into account at planning light felling. Bearing in mind maintenance of the effective number of clones, the grafts with the lowest index values should be gradually removed from the seed orchard for the benefit of correctly shaped trees.

### Flowering and cone production

The evaluation of clone flowering was carried out on 16 May 2013 and 30 April 2014. Male pollen cones were observed on 6.10 and 47.12% grafts, depending on the observation year. Female cones were observed on 4.23% (2013) and 8.63% (2014) grafts (Table 5). In the 2-year observation period, there was observed significant correlation between the production of male and female flowers (Table 3). It was found that flowering Norway spruces produced both male and female gametes.

Cone production within the seed orchard was assessed on 10 September 2013, that is, when the cones were fully developed. The cones produced were small (to approx. 10 cm) and achieved half the length of the average size of Norway spruce cones. The cones were observed on 12 trees (2.80% of all Norway spruce trees examined). Four hundred and fo-

Branches thickness (2013)	Forking (2013)	Male flowering (2013)	Female flowering (2013)	Male flowering (2014)	Female flowering (2014)	Vitality (2013)	Fructification (2013)
-0.107*	0.095*	0.113*	0.054	-0.047	-0.02	0.293***	0.083
0.693***	-0.023	-0.190***	-0.162***	0.183**	-0.195**	-0.481***	-0.134**
0.069	-0.038	-0.236***	-0.230***	-0.096	-0.295***	-0.194***	-0.185***
0.222***	-0.042	-0.324***	-0.425***	-0.016	-0.384***	-0.367***	-0.329***
0.110*	0.024	-0.078	-0.196***	0.064	-0.184**	-0.145**	-0.132**
-0.047	-0.022	-0.268***	-0.236***	-0.243***	-0.226***	-0.175**	-0.210***
0.598***	-0.024	-0.238***	-0.216***	0.082	-0.326***	-0.506***	-0.152**
x	0.045	-0.159***	-0.163***	0.239***	-0.214***	-0.424***	-0.126**
0.045	x	0.155**	0.162***	0.109	0.218***	0.168***	0.159***
-0.159***	0.155**	x	0.718***	0.227***	0.442***	0.453***	0.641***
-0.163***	0.162***	0.718***	x	0.173**	0.480***	0.370***	0.863***
0.239***	0.109	0.227***	0.173**	x	0.313***	0.045	
-0.214***	0.218***	0.442***	0.480***	0.313***	x	0.395***	
-0.424***	0.168***	0.453***	0.370***	0.045	0.395***	x	0.318***
-0.126**	0.159***	0.641***	0.863***	0.104	0.182**	0.318***	x

urteen grafts (97.20%) produced no seeds in the analysed vegetation season. At a clone level, 11 trees produced cones, (cones were observed at one graft from clone).

### Tree health

The evaluation of Norway spruce health was carried out on 24 May 2013. The health condition of spruce trees examined in the seed orchard was satisfactory. Three hundred and eighty one (89.40%) specimens showed neither disease symptoms nor needle discolouration. Discolouration of the needles (assimilation apparatus damage) and poor health status was observed in 13 trees (3.10%). At a clone level, health estimates ranged from 1.00 to 1.67. No more than perfectly healthy specimens were observed in the following clones: 3130, 3398, 3417, 3422, 3425, 3431, 3434, 3449, 3450, 3452, 3454 (Table 4).

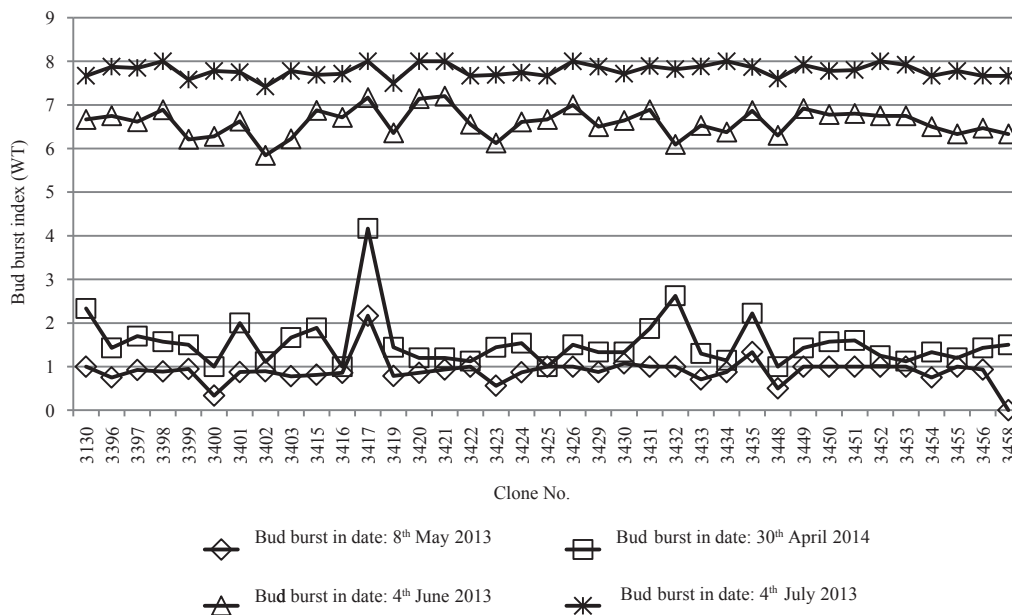
Phenotype correlations showed that tree health was strongly associated with other features examined with the exception of male flowering in 2014 (Table 3). In 2013, Norway spruce health was strongly correlated with male and female flowering (0.453\*\*\*, 0.370\*\*\*, respectively). Correlation coefficients indicated that in the year of poor cone yield, we-

akened trees flowered more intensely when compared with perfectly healthy clones. Weakened grafts (evaluation based on correlation coefficients) had narrower crowns, less straight tree trunks and thinner branches as well as forked leaders.

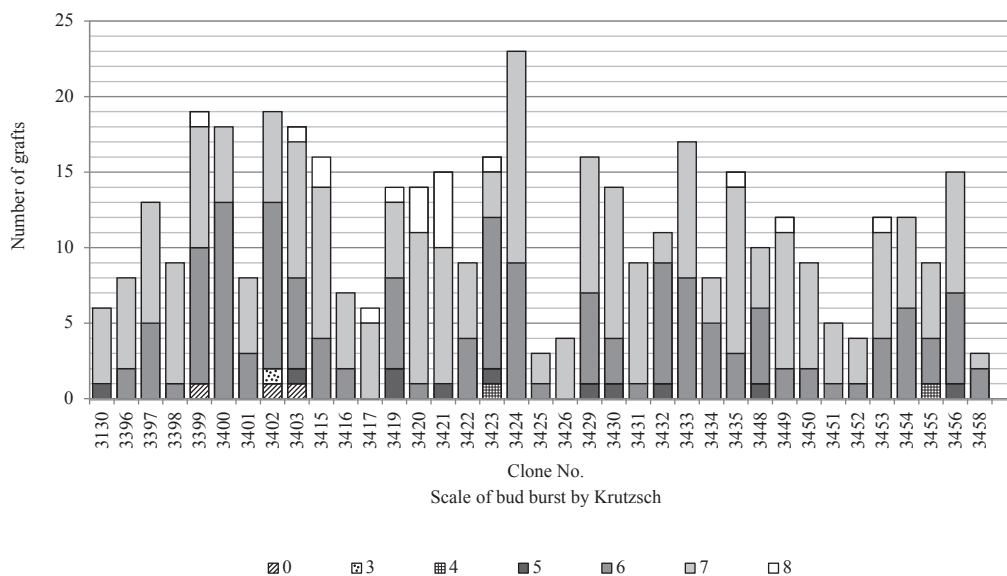
## 4. Discussion

Norway spruce is one of the main forest forming tree species in Poland, especially in the northeastern and southern parts of the country. As an important tree species, yet vulnerable to climate change, it needs the protection as well as selection towards building population of specimens with the best quantitative and qualitative features.

In Poland's forests managed by the State Forests National Forest Holding, Norway spruce selection has been carried out in line with long-term breeding programmes, comprising recommendations on seed stands, managed seed stands, parent trees and procedures for forest basic material. Breeding material has been acquired from selected specimens or populations with the best phenotype features. Seed orchards were established to facilitate collection of adequate numbers of Norway spruce seeds with high genetic value. Undertaken selection activities have enhanced forest production and



**Figure 2.** Coefficient of bud burst in the clones in different terms in 2013 and 2014



**Figure 3.** Variability of bud burst within the clones, on 4th June 2013

at the same time, the effects of various environmental factors have been decreased and those of genetic factors – increased. An important factor in successful seed orchard performance is site fertility, which improves cone and seed production (Tyszkiewicz 1949; Załęski 1995; Boratyński, Bugała 1998; Buraczyk 2009). Stimulation of tree flowering can be another factor with a positive influence on cone and seed production within seed orchards. In Poland, the methods of flowering stimulation were described by Chałupka (1985, 1987, 1991, 1997). On the other hand, however, the results then obtained were not definite enough to support fully reliable methodolo-

gy for stimulation of Norway spruce flowering. Markiewicz (2006) conducted a study on stimulation of flowering of the European larch and found that ringing was more effective in the year of poor larch flowering. There also was observed that larch clones and half-sib families with naturally low flowering ability showed the uppermost growth.

In the present study, data collected during the vegetation seasons 2013 and 2014, provided information on Norway spruce variability, flowering and cone production in vegetative progeny of maternal trees planted in 1989 within the seed orchard established in the Bielsk Forest District. The analysis

**Table 4.** Summary of morphological features and breeding index of the Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) clones in a seed orchard in the Bielsk Forest District

No.	Clone No.	Number of grafts	Diameter [cm]	Crown width	Stem straightness	Forking	Branch thickness	Bud burst Index ( $W_p$ )	<i>WR</i> Breeding Index
1	3130	6	22.33	2.5	1.17	1.17	1.83	5.11	
2	3396	8	23.06	2.5	1.13	1	2.13	5.13	
3	3397	13	18.92	2.15	1.38	1.62	2	5.13	0.21
4	3398	9	26.11	3	1.33	1.22	2.33	5.26	
5	3399	19	20.68	2.53	1.32	1.42	1.95	4.91	0.45
6	3400	18	19.35	2.39	1.39	1.11	1.94	4.8	0.30
7	3401	8	22.5	2.25	1.25	1.38	2.38	5.08	
8	3402	19	21.39	2.37	1.21	1.37	2.16	4.72	0.31
9	3403	18	20.22	2.28	1.61	1.22	1.89	4.93	-0.09
10	3415	16	17.27	2.38	1.38	1.56	1.81	5.13	0.56
11	3416	7	23.14	2.57	1.43	1.71	2	5.1	
12	3417	6	24.75	2.5	1.83	1.33	2.17	5.78	
13	3419	14	22.04	2.5	1.14	1.07	2	4.88	0.74
14	3420	14	22.71	2.5	1.29	1.5	2.07	5.33	0.30
15	3421	15	22.67	2.93	1.8	2	2.53	5.38	-1.64
16	3422	9	24.94	2.56	1.33	1.11	2.22	5.07	
17	3423	16	20.84	2.44	1.69	1.5	2	4.79	-0.45
18	3424	23	19.76	2.35	2.3	1.43	2.3	5.07	-2.33
19	3425	3	26.67	2.67	1.33	1	2.67	5.11	
20	3426	4	19.63	2.5	1.25	1	2	5.33	
21	3429	16	20.3	2.25	1.25	1.25	1.88	5.08	0.72
22	3430	14	20.38	2.57	1.36	1.29	1.93	5.14	0.40
23	3431	9	18.44	2.44	1.67	1.22	2	5.26	
24	3432	11	18.14	2.36	1.55	1.55	1.73	4.97	0.34
25	3433	17	22.74	2.35	1.24	1	2.06	5.04	0.43
26	3434	8	21.56	2.38	1.25	1.13	2.25	5.08	
27	3435	15	21.1	2.27	1.27	1.47	2.2	5.36	0.12
28	3448	10	24.55	2.7	1.1	1.5	2.2	4.8	0.48
29	3449	12	24.04	2.75	1.17	1.33	2.5	5.28	-0.19
30	3450	9	24.5	2.67	1.11	1.33	2.22	5.19	
31	3451	5	23.6	2.6	1.6	2	2.4	5.2	
32	3452	4	20.88	2.75	1	1	1.75	5.25	
33	3453	12	16.32	2.25	2	1.17	1.83	5.22	-0.84
34	3454	12	23.21	2.58	1.08	1	2.25	4.97	0.43
35	3455	9	20.44	2.67	1.22	1.67	2	5.04	
36	3456	15	19.47	2.2	1.4	1	1.93	5.02	0.29
37	3458	3	14.67	2.33	1.67	1	1.33	4.67	
Average			<b>21.2</b>	<b>2.46</b>	<b>1.42</b>	<b>1.33</b>	<b>2.08</b>	<b>5.07</b>	<b>0.01</b>
Standard deviation			<b>6.63</b>	<b>0.68</b>	<b>0.65</b>	<b>0.74</b>	<b>0.59</b>	<b>0.21</b>	<b>0.58</b>

**Table 5.** Male and female flowering of Norway Spruce clones in a seed orchard in the Bielsk Forest District

Flowering	2013	2014
<b>A</b>		
Total number of clones	37	37
Female flowering	14	16
	% 37.84%	43.24%
Male flowering	20	36
	% 54.05%	97.30%
<b>B</b>		
Total number of grafts	426	278
Female flowering	18	24
	% 4.23%	8.63%
Male flowering	26	131
	% 6.10%	47.12%

of Norway spruce morphological features indicated differences among the clones examined, and these were statistically significant (with the exception of tree crown broadness and tree trunk ramification). The results of analysis of variance obtained in this study are in reference to the results obtained by the Forest Research Institute, Poland, before light felling performed in the seed orchard observed. Then (in 2011), Norway spruce features analysed comprised Norway spruce tree trunk straightness, crown broadness and branch thickness. There were found significant differences among the clones examined with regard to the features checked except for crown broadness. In 2011, clone heritability of the features tested was 0.58 for tree trunk straightness, 0.21 for crown broadness and 0.47 for branch thickness. In the present study, analogous measurements carried out in 2013 showed the following heritability values: tree trunk straightness – 0.64, crown broadness – 0.11, branch thickness – 0.40. Variability of the examined clones was confirmed and indicated comparable values in subsequent observation years even though the measurements were conducted by different researchers.

At the same time, the study showed clone variability of bud development phenology. The grafts showed differentiated bud development stages. Grafts of an individual clone have the same genotype, nonetheless, they develop at different rates. The results of other studies on spring development of Norway spruce vegetative progeny (Szwajka 2011) validate the results of the present study.

The index  $W_p$  distinguished the Norway spruce clones investigated into early and late development forms (13 and 22 clones, respectively). Two of the clones examined were not

assigned to any of these types due to the fact that both of them showed  $W_p$  value equal to the overall mean obtained for all the clones observed in the seed orchard. Early start of spring growth threatens the youngest Norway spruce trees since these are vulnerable to late frost, especially when grow in open areas (Jaworski 1995). Understanding clone variability of spring, bud burst requires further research in order to collect information needed for decision-making processes with regard to seed orchard management.

In northeastern Poland, Norway spruce cone yields were low in the observation years 2013 and 2014. Based on correlation coefficients between tree health and female flowering (0.370\*\*\* and 0.395\*\*\* for 2013 and 2014, respectively), the assumption was confirmed that in the year of crop failure, physiologically weakened trees started producing more seeds so as to pass their genes on to progeny (Tyszkiewicz 1949; Tomanek 1966; Boratyński, Bugała 1998).

In seed orchards, Norway spruce male and female flowerings are strongly correlated (Chałupka 1988). This was confirmed in the present study by correlation coefficients between the number of male pollen and female cones produced by the grafts in 2013 (0.718\*\*\*). In 2014, correlation coefficient between male pollen and female cones was much lower – 0.313\*\*\*, which was probably due to the term of observation (30 April) – when not all female cones were yet detectable.

The obtained results indicate high variability of Norway spruce grafts and clones as well as complexity of cone production processes. Consequently, there is a need for further research in this field. Studies on Norway spruce cone production are of particular importance in view of currently observed climatic changes and unpredictable weather conditions. Long-term observations on Norway spruce flowering and seed production within seed orchards indicate similar patterns of cone production as those observed in mature stands (Dietrichson 1989, Nikkanen, Ruotsalainen 2000). Evaluation of Norway spruce cone yields carried out in the Białowieża Primeval Forest showed distinct relationships between cone production and tree thickness (Buraczyk 2002). Another important aspect (confirmed by long-term studies) is a relationship between tree crown length and seed production. In natural stands, Norway spruce trees, which produce seeds abundantly, must uphold crowns longer than 60% of their height (Buraczyk 2005). The length of the crown is very much important for trees growing in seed orchards – by definition established for the production of seeds with high genetic value.

In summary, there should be emphasised that there occurs considerable variability among Norway spruce clones, which ought to be taken into consideration during light felling. The grafts of the clones with the worst features should be gradually removed for the benefit of superior specimens. Due to relatively small clone numbers grown within seed orchards,

selective light felling resultant in the complete removal of the worst clones is not possible. Selective felling should be conducted within a specific time frame considering tree density, and this aspect is often neglected by seed orchard managers. Delayed treatments stop the progress of tree crown development and reduce seed production (Buraczyk 2006). Establishment of appropriate relationships between tree crown length and the number of produced seeds should constitute a basis for further elaboration of management principles and recommendations, especially within the areas that serve as seed production sites (Kantorowicz 2000).

## 5. Conclusions

1. Norway spruce clones growing in the Bielsk Forest District seed orchard are characteristic of high variability with regard to the features examined, which was statistically confirmed in the case of spring bud development phenology, tree trunk straightness and branch thickness.

2. In general, Norway spruce male and female flowerings are strongly positively correlated, which was validated by the study results obtained in the year 2013.

3. In the year of poor seed yield, physiologically weakened Norway spruce grafts produce more cones.

4. There were found differences in bud development rates between grafts of the same Norway spruce clone.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

## Acknowledgments

The authors would like to thank Dr. hab. Jan Kowalczyk for providing the calculation sheet for seed orchard assessment and M.Sc. Eng. Marcin Konieczny for sharing the preliminary results of the analysis of qualitative features of Norway spruce clones growing in the Bielsk Forest District seed orchard.

The present study was conducted in a framework of the master's thesis and was not additionally financed.

## References

- Barzdajn W., Błonkowski S., Burczyk J., Chałupka W., Fonder W., Grądzki T., Gryzłó Z., Kacprzak P., Kowalczyk J., Kozioł Cz., Matras J., Pytko T., Rzońca Z., Sabor J., Szelań Z., Tarasiuk S. 2009. Program zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew w Polsce na lata 2011-2035. Warszawa.
- Boratyński A., Bugała W. 1998. Biologia świerka pospolitego. Opracowanie zbiorowe, PAN Instytut Dendrologii.
- Buraczyk W. 2002. Wpływ grubości i wysokości świerków na ich owocowanie w Puszczy Białowieskiej. *Sylwan* 4: 25–33.
- Buraczyk W. 2005. Relation between crown length and seed production in Norway spruce trees (*Picea abies* [L.] Karst.). *Annals of Warsaw Agricultural University. Forestry and Wood Technology* 56: 76–86.
- Buraczyk W. 2006. Relation between social status and seed production in Norway spruce trees (*Picea abies* [L.] Karst.). *Annals of Warsaw Agricultural University. Forestry and Wood Technology* 60: 85–93.
- Burzyński G., Czart J., Fonder W., Korczyk A., Matras J. (kierownik zespołu), Puchniarski T., Tomczyk A., Załęski A. 1993. Program zachowania zasobów leśnych i hodowli selekcyjnej drzew leśnych w Polsce na lata 1991-2010. DGLP, IBL, Warszawa.
- Burzyński G., Czart J., Fonder W., Korczyk A., Matras J. (team leader), Puchniarski T., Tomczyk A., Załęski A. 2000. Program zachowania zasobów leśnych i hodowli selekcyjnej drzew leśnych w Polsce na lata 1991-2010. Wydanie II poprawione, Warszawa.
- Chałupka W. 1975. Wpływ czynników klimatycznych na urodzaj szyszek u świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w Polsce. *Arboretum Kórnickie* 20: 213–225.
- Chałupka W. 1985. Regulacja kwitnienia na plantacjach nasiennej sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.). PAN Instytut Dendrologii, Kórnik. Rozprawa habilitacyjna.
- Chałupka W. 1987. Stimulation of flowering in Scots pine (*Pinus sylvestris*) grafts by gibberellin injection. *Forest Ecology and Management* 19: 177–181. DOI:10.1016/0378-1127(87)90024-7.
- Chałupka W. 1988. Kwitnienie i zamieranie szczepów na modelowej plantacji nasiennej świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w Kórniku. *Arboretum Kórnickie* 23: 127–157.
- Chałupka W. 1991. Effect of GA<sub>4/7</sub> on flowering of pruned and unpruned seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Arboretum Kórnickie* 36: 43–59.
- Chałupka W. 1997. Carry-over effect of gibberellins (GA<sub>4/7</sub>) and ringing on female flowering in Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings. *Annals of Forest Science* 54: 237–241. DOI: 10.1051/forest:19970302.
- Dietrichson J. 1989. Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) seed production in orchards. Experiences from Norway. Proc. IUFRO WP S2.02. – 11. Mtg. On Norway Spruce Provenances, Breeding and Genetic Conservation, Sweden 1988. Eds. L. G. Stener and M. Werner, Inst. För Skogsförbattring, Uppsala, Rap. 11: 167–188.
- Giertych M. 1977. Genetyka, in: Świerk pospolity. *Picea abies* (L.) Karst. Nasze drzewa leśne. PWN Warszawa – Poznań, 287–331.
- Giertych M., Mąka A. 1994. Ocena indeksowa dziewięcioletnich rodów sosny (*Pinus sylvestris* L.) z kontrolowanych krzyżówek. *Arboretum Kórnickie* 33: 87–107.
- Górnica A. 2000. Klimat województwa podlaskiego. Białystok, IMGW.
- Ilmurzyński E., Włoczewski T. 2003. Hodowla lasu. PWRiL, Warszawa.
- Jaworski A. 1995. Charakterystyka hodowlana drzew leśnych. Gutenberg, Kraków.
- Kantorowicz W. 2000. Half a Century of Seed Years in Major Tree Species of Poland. *Silvae Genetica* 49(6): 245–249.

- Kocięcki S.T. 1988. Wytyczne w sprawie selekcji drzew na potrzeby nasiennictwa leśnego. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria B 7*: 1–61.
- Krutzsch P. 1973. Norway spruce. Development of buds. IUFRO S2.02.11. The Royal College of Forestry. Stockholm, Sweden.
- Markiewicz P. 2006. Wpływ zabiegów stymulacyjnych na kwitnienie i obradzanie modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) na plantacjach nasiennych. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Nikkanen T., Rutosalainen S. 2000. Variation in flowering abundance and its impact on the genetic diversity of the seed crop in Norway spruce seed orchard. *Silva Fennica* 34(3): 205–222. DOI: 10.14214/sf.626.
- Pirc H. 2006. Drzewa od A do Z. Warszawa, Wyd. Klub dla Ciebie.
- Sabor J., Skrzyszewska K., Kulej M., Banach J. 1999. Rola obserwacji fenologicznych w genetyce populacyjnej drzew leśnych. Konferencja naukowa „Klimatyczne uwarunkowania życia lasu”. Zakopane 21–22 maj 1999, 105–113.
- Seneta W., Dolatowski J. 2009. Dendrologia. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Szwajka A. 2011. Zmienność szczepów na plantacji zachowawczej świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) H. Karst.) w Nadleśnictwie Oleszyce. Praca magisterska. Katedra Hodowli Lasu, Wydział Leśny, SGGW w Warszawie.
- Tomanek J. 1966. Botanika leśna. Warszawa, PWRiL.
- Trampler T., Dmyterko E., Girzda A. 1986. Przyrodniczo-leśna regionalizacja Polski. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria B 5*: 51–62.
- Tyszkiewicz S. 1949. Nasiennictwo leśne. Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Załęski A. 1995. Nasiennictwo leśnych drzew i krzewów iglastych. Wydawnictwo Świat, Warszawa, 180 s.

## Source materials

- Program doskonalenia gospodarki nasiennej i wdrażania osiągnięć leśnej genetyki stosowanej w Lasach Państwowych w okresie 1975–1990. NZLP, Warszawa 1975. Maszynopis: 1 – 64.
- Rejestr bazy nasiennej w Polsce. 1996. Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Plan Urządzenia Lasu Nadleśnictwa Bielsk na okres 01.01.2009–31.12.2018. 2008. Białystok, Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej oddział w Białymstoku.

## Author's contribution

- S.M. – conception, data collection, literature review, manuscript preparation;
- M.R. – statistical analysis, manuscript revision.