

ZDZISŁAW KALINIEWICZ, ARTUR POZNAŃSKI

## Zmienności i wzajemna korelacja wybranych cech fizycznych nasion lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.)

Variability and correlation of selected physical attributes of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) seeds

### ABSTRACT

Kaliniewicz Z., Poznański A. 2013. Zmienności i wzajemna korelacja wybranych cech fizycznych nasion lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.). Sylwan 157 (1): 39-46.

Critical transport velocity, thickness, width, length, angle of sliding friction and weight of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) seeds from five batches, harvested in four neighboring seed regions in Poland, were determined. The values of shape factor, cross-sectional area, volume and density were calculated for each seed. The results were compared using standard statistical methods (simple ANOVA, correlation, single-variable and multivariate regression analysis). The highest correlation was observed between weight of seeds and their thickness and width. Majority of regression equations developed in the study was characterized by a relatively high percentage of explained variation, taking into account the type of experimental material.

### KEY WORDS

*Tilia cordata*, seeds, physical attributes, correlations

### ADDRESSES

Zdzisław Kaliniewicz – e-mail: arne@uwm.edu.pl

Artur Poznański – e-mail: artur.poznanski@onet.pl

Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań; Uniwersytet Warmińsko-Mazurski;  
ul. Oczapowskiego 11/3A; 10-719 Olsztyn

### Wstęp

Lipa drobnolistna (*Tilia cordata* Mill.) jest drzewem osiagającym wysokość do 40 m, które rośnie w świetlistych, ciepłych, mieszanych lasach liściastych, a także w lasach łągowych, grabowych i wśród klonów [Lipy... 1991; Bugała 2000; Pirc 2006; Jaworski 2011]. W lasach Polski występuje jako gatunek domieszkowy, pełniąc w gospodarce leśnej rolę pomocniczą, pielęgnacyjną oraz biocenotyczną w stosunku do głównych gatunków lasotwórczych [Ludwikowska i in. 2011]. Bardzo często jest sadzona przy domach, w parkach i przy drogach, jako roślina ozdobna i użyteczna [Bugała 2000; Samojlik 2005; Pirc 2006; Waś i in. 2011].

Lipa wcześniej zaczyna owocować. W zwanym drzewostanie wytwarza owoce w wieku około 30 lat, a na przestrzeni otwartej już po osiągnięciu około 15 lat [Lipy... 1991; Gil, Kinelski 2003; Jaworski 2011]. Owocem jest kulisty lub owalny orzeszek, w środku którego znajduje się jedno lub dwa nasiona. Dojrzałe orzeszki są brązowożółte z lekkim zielonym odcieniem, a nasiona – ciemnobrązowe [Lipy... 1991; Bugała 2000; Jaworski 2011; Seneta, Dolatowski 2011]. Opadanie owoców z drzew zaczyna się z początkiem jesieni. Niedojrzałe wysiewa się tego samego roku lub stratyfikuje, natomiast dojrzałe poddaje się omłotowi, którego główny produkt po podsuszeniu można przechowywać w szczelnie zamkniętych pojemnikach do 3 lat [Suszka i in. 2000].

W procesach czyszczenia i sortowania nasion lipy drobnolistnej stosuje się przede wszystkim urządzenia sitowe i pneumatyczne oraz będące ich kombinacją maszyny złożone [Suszka i in. 2000]. W praktyce parametry ich funkcjonowania dobiera się intuicyjnie przez przeprowadzenie kilku prób czyszczenia. Jednak dla właściwego zaplanowania procesu czyszczenia lub sortowania nasion konieczna jest znajomość cech fizycznych obrabianego materiału i wykrycie występujących między nimi współzależności [Grochowicz 1994]. W dostępnej literaturze, jak dotychczas, brakuje wyczerpujących informacji na ten temat w odniesieniu do nasion lipy.

Celem pracy było wyznaczenie zakresu zmienności podstawowych cech rozdzielczych (prędkości krytycznej unoszenia, wymiarów, kąta tarcia ślizgowego i masy) i parametrów (współczynników kształtu, pola przekroju poprzecznego, objętości i gęstości) nasion lipy drobnolistnej oraz określenie zależności między tymi cechami w aspekcie projektowania procesów ich czyszczenia i sortowania.

## Material i metody

Materiał badawczy stanowiły nasiona lipy drobnolistnej pozyskane z 4 sąsiadujących ze sobą regionów nasiennych, znajdujących się w 3 krainach przyrodniczo-lesnych, o następującej charakterystyce:

- L-25 – nr rejestrowy – MP/3/41103/05, plantacja, symbol regionu pochodzenia – 106, gmina Zalewo, siedliskowy typ lasu – bór mieszany świeży, wiek – 25 lat;
- L-69 – nr rejestrowy – MP/1/11371/05, drzewostan, symbol regionu pochodzenia – 451, gmina Jednorzec, siedliskowy typ lasu – las mieszany świeży, wiek – 69 lat;
- L-97 – nr rejestrowy – MP/1/48616/08, drzewostan, symbol regionu pochodzenia – 356, gmina Górzno, siedliskowy typ lasu – las mieszany świeży, wiek – 97 lat;
- L-108 – nr rejestrowy – MP/1/45571/06, źródło nasion, symbol regionu pochodzenia – 356, gmina Rogóźno, siedliskowy typ lasu – las świeży, wiek – 108 lat;
- L-122 – nr rejestrowy – MP/1/44239/05, źródło nasion, symbol regionu pochodzenia – 103, gmina Dobre Miasto, siedliskowy typ lasu – las mieszany świeży, wiek – 122 lata.

Dla wyznaczenia fizycznych cech nasion poszczególne partie nasion rozsypywano na blat stołu i dzielono je metodą „przez przepoławianie” [Załęski 1995] równomiernie na tyle części, aby ostatecznie w jednej próbce znalazło się nieco ponad 100 nasion. W związku z powyższym liczebność próbek nie była jednakowa i wynosiła: L-25 – 121, L-69 – 114, L-97 – 122, L-108 – 115, L-122 – 121 nasion.

Prędkość krytyczną unoszenia nasion określono za pomocą klasyfikatora pneumatycznego typu K-293 firmy Petkus, który umożliwia wyznaczenie jej z dokładnością do 0,11 m/s (dokładność odczytu natężenia strumienia powietrza – 1 m<sup>3</sup>/h). Dla usprawnienia dokonywania pomiarów tej cechy na początku nasiona podzielono na frakcje, zmieniając prędkość strumienia powietrza co 0,55 m/s, w wyniku czego uzyskano od 9 do 12 frakcji dla każdej próby nasion. Następnie ustawiano prędkość strumienia powietrza w zakresie zmienności danej frakcji ze skokiem co 0,11 m/s i po kolei wprowadzano nasiona do pneumatycznego kanału klasyfikatora przy danej jego wartości. Nasiona opadające w strumieniu powietrza powtórnie kierowano do kanału po ustawieniu wyższej prędkości. Nasionom porywanym strumieniem powietrza przypisywano prędkość krytyczną środka przedziału aktualnej wartości strumienia powietrza i poprzednio ustawionej.

Wymiary nasion określono za pomocą mikroskopu warsztatowego typu MWM 2325 i przyrządu na bazie czujnika zegarowego zgodnie z metodyką opisaną w pracy Kaliniewicza i in. [2011]. Kąt tarcia ślizgowego wyznaczono na równi pochyłej o regulowanym ustawieniu z płaszczyzną trącą

z blachy stalowej ST3S (GPS – Ra = 0,46  $\mu\text{m}$ ). Każde nasiono układano na poziomo ustawionej równi w dwóch położeniach: osią podłużną prostopadle ( $\gamma_1$ ) i równoległe ( $\gamma_2$ ) do nachylenia powierzchni. Następnie zwiększano kąt nachylenia równi aż do momentu wystąpienia ruchu nasiona. Wartość kąta odczytywano z kątomierza z dokładnością do 1°. Masę nasion odczytywano na wadze laboratoryjnej WAA 100/C/2 z dokładnością do 0,1 mg.

Dla określania kształtu nasion obliczono współczynniki sferyczności według następujących zależności [Grochowicz 1994]:

$$K_m = \frac{W}{L}$$

$$K_w = \frac{T}{L}$$

gdzie:

$T, W, L$  – odpowiednio grubość, szerokość i długość nasion [mm].

Założono, że nasiona lipy drobnolistnej w przekroju poprzecznym są zbliżone do elipsy. W związku z powyższym pole przekroju poprzecznego  $F$  poszczególnych nasion obliczono ze wzoru:

$$F = \frac{\pi \cdot W \cdot T}{4}$$

Dla wyznaczenia objętości nasion w pierwszym etapie wykorzystano piknometr cieczowy o objętości 25 cm<sup>3</sup> wyposażony w termometr i kapilarę. Posłużył on do określenia objętości  $V_p$  wszystkich nasion w danej partii. Na podstawie tej objętości i sumy iloczynu wymiarów nasion danej partii obliczono średnią wartość współczynnika proporcjonalności ze wzoru:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^5 \frac{V_p}{L \cdot W \cdot T}}{5}$$

Wobec tego objętość  $V$  każdego z nasion wyznaczono według następującej zależności:

$$V = k \cdot L \cdot W \cdot T$$

Gęstość  $\rho$  nasion o masie  $m$  obliczono ze wzoru:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Wyniki pomiarów opracowano przy użyciu programów Winstat i Statistica, wykorzystując ogólne znane procedury statystyczne (analiza wariancji, analiza korelacji i regresji z procedurą krokowej eliminacji zmiennych niezależnych).

## Wyniki i dyskusja

Najwyższe wartości współczynnika zmienności odnotowano dla kąta tarcia ślizgowego oraz masy nasion (tab. 1). Dla pozostałych cech parametr ten przyjmuje wartości znacznie niższe. Grubość analizowanych nasion zawierała się w zakresie 1,80-3,90 mm, szerokość – 2,19-4,67 mm, a długość – 2,71-5,77 mm. Wartości te są zbliżone do wymiarów orzeszków pozyskiwanych przez Ludwikowską i in. [2011] na plantacji nasiennej w Nadleśnictwie Susz.

Współczynnik objętości nasion ma wartość  $k=0,537$  i jest on nieco większy od uzyskiwanej przy założeniu, że nasiona lipy drobnolistnej są zbliżone do elipsoidy (wówczas  $k=0,524$ ).

Tabela 1.

Parametry statystyczne cech fizycznych nasion lipy drobnolistnej  
Statistical distribution of the physical traits of small-leaved lime seeds

Partia nasion	Cecha	$x_{min}$	$x_{max}$	$x$	$S$	$V_s$
L-25	$v$	6,325	12,925	10,216	1,323	12,95
	$T$	2,12	3,68	2,92	0,337	11,52
	$W$	2,37	3,90	3,35	0,295	8,82
	$L$	2,71	5,05	3,89	0,401	10,31
	$\gamma_1$	7	55	23,7	9,353	39,54
	$\gamma_2$	7	54	23,9	8,381	35,03
	$m$	4,4	33,7	20,40	5,711	28,00
L-69	$v$	6,325	12,925	10,440	1,373	13,15
	$T$	2,09	3,74	3,11	0,328	10,56
	$W$	2,94	4,61	3,57	0,293	8,21
	$L$	3,19	5,14	4,09	0,412	10,07
	$\gamma_1$	4	53	21,2	8,993	42,44
	$\gamma_2$	4	53	22,0	9,919	45,06
	$m$	4,4	39,6	23,34	6,608	28,32
L-97	$v$	6,875	12,925	10,328	1,184	11,46
	$T$	1,80	3,77	2,73	0,320	11,70
	$W$	2,19	4,47	3,17	0,383	12,07
	$L$	2,92	4,97	3,84	0,462	12,03
	$\gamma_1$	7	48	22,1	9,707	43,91
	$\gamma_2$	9	49	24,4	8,566	35,16
	$m$	6,8	33,7	18,19	5,603	30,80
L-108	$v$	6,325	12,375	10,548	1,165	11,04
	$T$	2,02	3,67	2,92	0,307	10,51
	$W$	2,33	4,67	3,38	0,303	8,97
	$L$	2,94	5,07	3,98	0,396	9,96
	$\gamma_1$	4	60	23,4	9,922	42,43
	$\gamma_2$	8	59	24,1	8,301	34,40
	$m$	6,0	32,1	21,42	4,885	22,80
L-122	$v$	7,425	11,825	9,961	1,108	11,12
	$T$	2,09	3,90	3,05	0,349	11,47
	$W$	2,94	4,23	3,50	0,288	8,23
	$L$	3,21	5,77	4,07	0,445	10,95
	$\gamma_1$	5	62	23,3	11,094	47,52
	$\gamma_2$	4	68	24,2	11,473	47,41
	$m$	9,3	35,3	21,49	5,406	25,16

Przy tym założeniu wyznaczana objętość nasion byłaby mniejsza od obliczonej średnio o około 2,4%. Tak mała różnica pozwala stwierdzić, że do obliczania objętości nasion lipy drobnolistnej można z powodzeniem stosować obie zależności. Najmniejszą zmiennością charakteryzuje się współczynnik kształtu  $K_m$ , a największą objętość nasion (tab. 2). Cechy te zawierają się w zakresie odpowiednio 0,56-1,00 i 7,5-42,6 mm<sup>3</sup>.

Statystycznie równe średnie objętości dla wszystkich partii nasion uzyskano tylko dla kąta tarcia ślizgowego (tab. 3). Wynikać to może po części z zanotowanej wcześniej dużej zmienności tych cech. Różnic nie odnotowano również przy porównywaniu kąta tarcia nasion układanych osi podłużną równolegle i prostopadle do nachylenia powierzchni (średnie wartości odpowied-

Tabela 2.

Parametry statystyczne wyznaczonych wskaźników nasion lipy drobnolistnej  
Statistical distribution of the indicators determined for small-leaved lime seeds

Partia nasion	Cecha	$x_{min}$	$x_{max}$	$x$	$S$	$V_s$
L-25	$K_m$	0,673	1,000	0,864	0,070	8,06
	$K_w$	0,549	0,953	0,755	0,083	10,95
	$F$	4,114	10,896	7,743	1,418	18,31
	$V$	7,791	35,129	20,834	5,209	25,00
	$\rho$	0,361	1,871	0,986	0,198	20,11
L-69	$K_m$	0,695	1,000	0,877	0,075	8,57
	$K_w$	0,442	0,941	0,767	0,095	12,44
	$F$	5,121	13,107	8,755	1,409	16,10
	$V$	11,836	41,940	24,631	5,350	21,72
	$\rho$	0,301	1,842	0,952	0,224	23,54
L-97	$K_m$	0,556	0,997	0,830	0,086	10,30
	$K_w$	0,457	0,902	0,717	0,085	11,90
	$F$	3,096	11,785	6,873	1,484	21,59
	$V$	7,513	35,292	18,341	5,587	30,46
	$\rho$	0,507	1,751	1,002	0,172	17,08
L-108	$K_m$	0,619	0,989	0,853	0,069	8,13
	$K_w$	0,503	0,923	0,739	0,077	10,42
	$F$	4,026	11,068	7,801	1,295	16,60
	$V$	8,093	33,620	21,424	5,025	23,46
	$\rho$	0,473	1,742	1,016	0,183	18,07
L-122	$K_m$	0,660	1,000	0,866	0,081	9,30
	$K_w$	0,485	0,951	0,755	0,095	12,62
	$F$	5,655	12,313	8,388	1,362	16,23
	$V$	12,764	42,555	23,515	5,560	23,65
	$\rho$	0,333	1,409	0,923	0,158	17,08

Tabela 3.

Średnie wartości analizowanych cech fizycznych oraz obliczonych wskaźników  
Mean values of analysed physical traits and indicators

Cecha	L-25	L-69	L-97	L-108	L-122
$v$	10,216ab	10,440a	10,328a	10,548a	9,961b
$T$	2,92b	3,11a	2,73c	2,92b	3,05a
$W$	3,35b	3,57a	3,17c	3,38b	3,50a
$L$	3,89cd	4,09a	3,84d	3,98bc	4,07ab
$\gamma_1$	23,7a	21,2a	22,1a	23,4a	23,3a
$\gamma_2$	23,9a	22,0a	24,4a	24,1a	24,2a
$m$	20,40b	23,34a	18,19c	21,42b	21,49b
$K_m$	0,864ab	0,877a	0,830c	0,853b	0,866ab
$K_w$	0,755ab	0,767a	0,717c	0,739bc	0,755ab
$F$	7,743c	8,755a	6,873d	7,801c	8,388b
$V$	20,834b	24,631a	18,341c	21,424b	23,515a
$\rho$	0,986ab	0,952bc	1,002ab	1,016a	0,923c

Litery oznaczają różnice istotne na poziomie 0,05; letters indicate difference significance at 0.05

nio 22,7 i 23,7). Wynika z tego, że na kąt tarcia ślizgowego nasion lipy drobnolistnej nie wpływa ich usytuowanie na powierzchni trącej ani też to, z jakiej populacji one pochodzą. Z tej racji do dalszych rozważań użyto wartość średnią ze zmierzonych wcześniej kątów tarcia ślizgowego danego nasiona.

Stwierdzono istotność wzajemnej korelacji dla przeważającej części cech (tab. 4). Ponadto dla większości z nich odnotowano tzw. istotność praktyczną, czyli sytuację, gdy współczynnik korelacji przyjmuje wartość przynajmniej 0,4. Wśród porównywanych cech fizycznych nawet bardzo słabej korelacji nie stwierdzono między kątem tarcia ślizgowego a szerokością i długością nasion lipy drobnolistnej. Największe wartości współczynnika korelacji odnotowano dla masy nasion i ich szerokości (0,69) oraz grubości (0,68). Wynika z tego, że dla podzielenia materiału nasiennego na frakcje masowe można stosować zamiennie sита z otworami okrągłymi i podłużnymi. Dużą współzależność odnotowano również dla masy i prędkości krytycznej unoszenia (0,63). Zważywszy na to, że gęstość nasion zależy w największym stopniu od prędkości krytycznej unoszenia, należałoby jednak do sortowania materiału nasiennego lipy drobnolistnej stosować strumień powietrza. Badania wykazały brak związku między masą a żywotnością nasion analizowanego gatunku [Bodul 2009], ale być może gęstość nasion będzie wyznacznikiem ich wigoru, co należałoby sprawdzić w następnych badaniach. Najwyższe wartości współczynnika korelacji uzyskano dla następujących par: współczynnik kształtu  $K_m$  – długość, współczynnik kształtu  $K_w$  – grubość, pole przekroju poprzecznego – grubość, objętość – szerokość (tab. 4). Przy porównywaniu szerokości i długości nasion uzyskano współczynnik korelacji na poziomie 0,60. Jego wartość jest zbliżona do otrzymanej przez Ludwikowską i in. [2011] dla nasion z plantacji nasiennej.

Opracowano równania opisujące relacje między badanymi cechami (tab. 5). Przy równaniach wielu zmiennych analizowano tylko następujące układy cech: prędkość krytyczna unoszenia, jeden z wymiarów (grubość, długość, szerokość), kąt tarcia ślizgowego i masa nasion. W przypadku równań jednej zmiennej najlepsze dopasowanie uzyskano dla masy i objętości nasion. Procent wyjaśnionej zmienności przekroczył 60%. Wśród równań wielu zmiennych najwyższy procent wyjaśnionej zmienności odnotowano dla zależności  $m = f(v, W, \gamma)$  – nieco ponad 72%. Należy podkreślić, że prezentowane zależności charakteryzują się, jak na materiał biologiczny, dość

**Tabela 4.**

Współczynniki korelacji prostoliniowej Pearsona między badanymi cechami i obliczonymi wskaźnikami nasion lipy drobnolistnej

Coefficients of Pearson's linear correlation between the analyzed attributes and calculated indicators of small-leaved lime seeds

	$T$	$W$	$L$	$\gamma$	$m$	$K_m$	$K_w$	$F$	$V$	$\rho$
$v$	0,35*	0,29*	0,22*	-0,35*	0,63*	0,05	0,14*	0,36*	0,34*	0,47*
$T$		0,60*	0,42*	-0,49*	0,68*	0,15*	0,60*	0,92*	0,83*	-0,17*
$W$			0,60*	-0,02	0,69*	0,37*	0,05	0,86*	0,86*	-0,18*
$L$				-0,03	0,58*	-0,51*	-0,46*	0,56*	0,79*	-0,23*
$\gamma$					-0,30*	0,02	-0,45*	-0,31*	-0,24*	-0,14*
$m$						0,05	0,14*	0,76*	0,78*	0,39*
$K_m$							0,60*	0,28*	-0,01	0,06
$K_w$								0,40*	0,10*	0,03
$F$									0,94*	-0,19*
$V$										-0,23*
$\rho$										

\* istotne przy poziomie istotności 0,05

\* significant at 0.05

Tabela 5.

Równania opisujące cechy fizyczne nasion lipy drobnolistnej  
Equations describing the physical attributes of small-leaved lime seeds

Równanie	Procent wyjaśnionej zmienności	Odchylenie standardowe reszt
$v = 0,74m - 0,03m^2 + 3,52 \cdot 10^{-4}m^3 + 3,39$	44,17	0,932
$T = 0,26W^2 - 1,66 \cdot 10^{-3}W^5 + 0,69$	41,76	0,269
$T = 0,04m + 2,10$	46,09	0,259
$W = 0,02m + 3,96 \cdot 10^{-4}m^2 + 2,71$	47,83	0,248
$m = 0,45T^3 + 9,07$	47,15	4,283
$m = -66,38W + 16,41W^2 - 0,05W^5 + 78,40$	49,83	4,180
$m = 2,94F - 2,29$	58,44	3,798
$m = 0,80V + 3,58$	61,28	3,666
$F = 4,77 \cdot 10^{-3}m^2 + 5,65$	59,00	0,981
$V = 0,02m^2 + 12,97$	62,75	3,522
$v = -0,16g + 0,17T^2 - 0,01m^2 + 0,05T \cdot g + 0,08T \cdot m - 1,28 \cdot 10^{-3} \cdot g \cdot m + 10,73$	49,78	0,887
$v = -2,56W + 0,26m - (1,37 \cdot g^2 + 5,87m^2 + 1,91 \cdot g \cdot m) \cdot 10^{-3} + 0,03W \cdot g + 0,05W \cdot m + 11,85$	48,63	0,897
$v = -1,79L + 0,18m - (0,96g^2 + 5,77m^2 - 8,91L \cdot g) \cdot 10^{-3} + 0,05L \cdot m + 11,79$	48,60	0,897
$T = 0,02g + 0,06m - (3,21g^2 + 8,66g \cdot m) \cdot 10^{-4} + 1,87$	57,06	0,232
$W = -0,49v + 0,07m + 0,02v^2 - (0,51m^2 - 0,71v \cdot g) \cdot 10^{-3} + 4,75$	54,60	0,231
$L = -0,62v + 0,09m + 0,03v^2 - (9,72m^2 + 3,42g \cdot m) \cdot 10^{-4} + 5,99$	40,67	0,335
$m = 3,76v - 0,14v^2 + 2,55T^2 + 2,37 \cdot 10^{-3} \cdot g^2 + 0,06v \cdot g - 0,21T \cdot g - 25,68$	68,75	3,308
$m = 2,79v - 0,41v^2 + 1,54W^2 + 1,95 \cdot 10^{-3} \cdot g^2 + 2,15v \cdot W - 0,06W \cdot g - 18,02$	72,27	3,116
$m = -0,08g + 0,60v \cdot L - 2,05$	61,79	3,645

dobrym procentem wyjaśnionej zmienności, co pozwala na ich stosowanie przy planowaniu procesów rozdzielczych nasion lipy drobnolistnej.

## Wnioski

- ✦ Nasiona lipy drobnolistnej z różnych regionów nasiennych charakteryzują się podobnymi współczynnikami zmienności badanych cech fizycznych, przy czym najbardziej są one zróżnicowane pod względem kąta tarcia ślizgowego.
- ✦ Na kąt tarcia ślizgowego nasion lipy drobnolistnej nie ma wpływu ani pochodzenie nasion, ani też sposób ich ułożenia na powierzchni trącej.
- ✦ Spośród badanych cech fizycznych nasion lipy drobnolistnej najbardziej ze sobą skorelowane są szerokość i masa nasion, a najmniej – szerokość i kąt tarcia ślizgowego.
- ✦ Przy sortowaniu nasion lipy drobnolistnej pod względem masy mogą być wykorzystywane zarówno podstawowe wymiary (grubość, szerokość i długość – sortowanie przy użyciu przesiewaczy sitowych i tryjerów), jak i prędkość krytyczna unoszenia (sortowanie w rozdzielaczu pneumatycznym). Ta ostatnia cecha jest też najbardziej użyteczna przy podziale partii nasion pod względem ich gęstości.

## Literatura

- Bodył M. 2009. Jakość nasion lipy drobnolistnej. Las Polski 7: 22-23.  
 Buwała W. 2000. Drzewa i krzewy. Wyd. PWRiL, Warszawa.  
 Gil W., Kinelski S. 2003. Nasiona i siewki drzew. Oficyna Wydawnicza Multico, Warszawa.  
 Grochowicz J. 1994. Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. Wyd. AR, Lublin.

- Jaworski A. 2011. Hodowla lasu. Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Kaliniewicz Z., Grabowski A., Liszewski A., Fura S. 2011. Analysis of correlations between selected physical attributes of Scots pine seeds. Technical Sciences 14 (1): 13-22.
- Lipy *Tilia mordata* Mill. *Tilia platyphyllos* Scop. 1991. Tom 15. Agencja Arkadia.
- Ludwikowska A., Kowalkowski W., Tarasiuk S. 2011. Wzrost szczepów lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.) na plantacji nasiennej w Nadleśnictwie Susz. Leśne Prace Badawcze 72 (2): 121-130.
- Pire H. 2006. Drzewa od A do Z. Wyd. Klub dla Ciebie, Warszawa.
- Samojlik T. 2005. Drzewo wielce użyteczne – historia lipy drobnolistnej (*Tilia cordata*) w Puszczy Białowieskiej. Rocznik Dendrologiczny 53: 55-64.
- Seneta W., Dolatowski J. 2011. Dendrologia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Suszka B., Muler C., Bonnet-Masimbert M. 2000. Nasiona leśnych drzew liściastych od zbioru do siewu. Wyd. PWN, Warszawa-Poznań.
- Waś E., Rybak-Chmielewska H., Szczęsna T., Kachaniuk K., Teper D. 2011. Characteristics of Polish unifloral honeys. II. Lime honey (*Tilia* sp.). Journal of Agricultural Science 55 (1): 121-128.
- Załęski A. [red.]. 1995. Nasiennictwo leśnych drzew i krzewów iglastych.. Oficyna Edytorska „Wydawnictwo Świat”, Warszawa.

## SUMMARY

### Variability and correlation of selected physical attributes of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) seeds

The following parameters of small-leaved lime seeds were determined: critical transport velocity, thickness, width and length as well as angle of sliding friction and weight. The seeds were harvested in four neighboring seed regions in Poland, located in three natural-forest regions. Based on the physical traits of seeds, the values of shape factor, cross-sectional area, volume and density were calculated. The average values of traits and indicators were subjected to single classification analysis of variance. Seed batches were combined into one group, and dependencies between the studied parameters were determined by correlation, single-variable and multivariate regression analysis.

The highest coefficients of variation were noted for the angle of sliding friction, and the lowest – for seed width (tab. 1, 2). The studied seed populations did not differ only with respect to the angle of sliding friction, irrespective of seed arrangement on the friction plate (tab. 3). The highest correlation was observed between the weight of seeds and their thickness and width, while the lowest – between seed width and the angle of sliding friction (tab. 4). Vertical air stream (pneumatic separators) could be used in the process of separation and sorting based on seed weight and density.

The majority of regression equations developed in the study were characterized by a relatively high percentage of explained variation (tab. 5), and therefore they can be used to design the separation process of small-leaved lime seeds.