

Szacowanie obwodów pni drzew 10-letnich na potrzeby zieleni miejskiej

Estimating the circumference of trunks of 10-year-old trees
for application in urban planting

JAN ŁUKASZKIEWICZ

Katedra Architektury Krajobrazu, Wydział Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Landscape Architecture Department, Faculty of Horticulture, Biotechnology
and Landscape Architecture, Warsaw University of Life Sciences
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, Poland
e-mail: jan_lukaszkiwicz@sggw.pl

Received: 1st August 2013; Accepted: 15th August 2013

ABSTRACT: Due to the current Polish law on nature protection, the pruning, pollarding or removal of trees without the permission of local authorities applies only to those, that don't exceed 10 years of age (with some exceptions). The law doesn't, however, indicate how to determine if a tree exceeded the required age threshold. For this reason, a lot of errors and fraud in the management of urban stands are committed. It appears that from a practical point of view, the age parameter should be replaced by the corresponding dimensions of trunks determined empirically. This is the direction of changes proposed in the new draft of the law on nature protection. This publication presents the preliminary results of the author's research on the growth of young trees reaching or exceeding the 10 year threshold. Studies show that within the age homogeneity of groups of trees, there is a large variation of trunk circumference (or other dendrometric parameters). It follows that accurate age assessment is impossible based on the individual tree's circumference. Results presented in this paper allow to pre-determine exponent of circumference – equivalent dimensions of an estimated typical 10-year old tree of some selected species.

Key words: tree age assessment, tree growth, the management of urban stands

Wprowadzenie

Dnia 5 lipca 2013 roku w Ministerstwie Środowiska w Warszawie odbyła się debata poświęcona propozycjom zmian przepisów o ochronie terenów zieleni i zadrzewień. Celem spotkania urzędników z ekspertami było lepsze przygotowanie projektu ustawy, przed przyszłymi konsultacjami społecznymi i uzgodnieniami międzyresortowymi. Projekt nowej ustawy o ochronie przyrody zakłada m.in., że w gospodarce drzewostanami miast ustalenie wartości przyrodniczej drzew na podstawie realnych parametrów dendrometrycznych (wartościowe z punktu widzenia przyrodniczego) jest bardziej praktyczne niż na podstawie trudnego do ustalenia kryterium wieku. Uzasadnieniem dla wprowadzanej zmiany przepisów jest fakt, że obecnie osoba planująca wycięcie drzewa nie może w sposób jednoznaczny – bez specjalistycznych pomiarów – określić, czy dane drzewo podlega obowiązkowi uzyskania zezwolenia czy też nie.

Obowiązująca ustawa o ochronie przyrody (Ustawa... 2004) mówi, że aby usunąć drzewo 10-letnie lub starsze, trzeba posiadać zezwolenie wydawane przez organ administracji. Przepisy w nowo proponowanej wersji zakładają podział drzew na dwie grupy drzew w zależności od tempa przyrostu pni na grubość. Obowiązkowi uzyskania zezwolenia na usunięcie nie będzie podlegało drzewo którego obwód pnia nie przekracza 30 cm (w przypadku gatunków szybko rosnących: topól, wierzb, kasztanowca, klonów – jesionolistnego i srebrzystego, robinii akacjowej oraz platanu klonolistnego) oraz 20 cm – w przypadku pozostałych gatunków drzew (Pisarczyk, Kasprzak 2013). Aby usunąć drzewo przekraczające progowy wymiar obwodu pnia, trzeba będzie uzyskać zezwolenie, a wysokość opłaty będzie nadal ustalana na podstawie m.in. stawki zależnej od obwodu pnia mierzonego na wysokości 130 cm.

Proponowane w projekcie ustawy o ochronie przyrody progowe wymiary obwodów pni drzew nie zostały jeszcze

definitywnie określone. Ich zdefiniowanie powierzono zaangażowanemu w tym celu przez Ministerstwo Środowiska zespołowi eksperckiemu (Siewniak, Szymański 2012). Aby progowe obwody pni drzew odpowiadały rzeczywistym wartościom biologicznym, muszą być określone na podstawie szeroko zakrojonych badań terenowych oraz wnikliwych analiz statystycznych. Niniejsza publikacja prezentuje wstępne wyniki indywidualnych badań autora nad wzrostem młodych drzew wybranych gatunków, osiągających lub przekraczających próg 10 lat.¹

Cel pracy

Celem badań jest określanie zależności pomiędzy wiekiem a obwodem pierścicowym pni młodych drzew – samosiewów należących do niektórych pospolicie występujących w Polsce gatunków, rosnących na terenach zurbanizowanych. Określenie tych zależności, wynikających z procesu wzrostu, pozwoli stwierdzić, czy możliwe jest wskazanie miary obwodu pnia typowego dla drzew różnych gatunków w wieku dziesięciu lat.

Metodyka

Dane prezentowane przez badaczy zajmujących się wzrostem drzew miejskich (Larsen, Kristoffersen 2002, Linsen i in. 2005, Brasch i in. 2009) oraz wyniki wcześniejszych badań własnych wskazują (Łukaszewicz 2010), że proces wzrostu parametrów dendrometrycznych, z upływem czasu, można skutecznie opisywać za pomocą modeli matematycznych. Dotyczy to szczególnie obwodu pnia drzewa. Parametr ten nadaje się dobrze do szacowania wieku, ponieważ jest bardzo ściśle związany ze wzrostem drzew w czasie. Ponadto łatwość pomiaru obwodu pnia i duża dokładność, jaką można tu osiągnąć, jest ważna w praktyce terenowej. W przypadku prezentowanych badań zależności obwodów pni od wieku drzew można określić poprzez pomiary grup siewek i młodych drzew z danego gatunku o dokładnie znanym wieku i rosnących w zbliżonych warunkach siedliskowych. Ma to na celu określenie istniejących zależności między wiekiem a obwodem pnia. Zgodnie z przyjętym celem, badania podzielone zostały na trzy podstawowe etapy:

Etap 1 – identyfikacja, pomiary i zbiór próbek z możliwie licznej grupy siewek lub młodych drzew danego gatunku. Przyjęto następujące założenia:

- podstawowym parametrem dendrometrycznym badań jest obwód pędu lub pnia mierzony na wysokości 130 cm nad poziomem gruntu;
- pomiarów dokonuje się z maksymalną możliwą tu dokładnością (do 1 mm);
- siewki (młode drzewa) kwalifikujące się do pomiarów powinny być zdrowe, bez widocznych objawów chorobowych;

- każda mierzona siewka (lub młode drzewo) otrzymuje niepowtarzalny numer w tabeli inwentaryzacyjnej;
- po pomiarze każda siewka jest ścinana tuż nad ziemią, a z pędu pobiera się próbkę – dolny fragment długości do 20 cm;
- pobrana próbka zostaje opatrzona numerem inwentaryzacyjnym i kodem gatunkowym, a strzałka wskazuje dolny koniec próbki, miejsce cięcia u podstawy pnia.

W celu zminimalizowania tej części zmienności tempa wzrostu, która wynika z odmiennych warunków życiowych drzew, starano się dobierać próbki z terenów o podobnych cechach siedliskowych. Badania ograniczono do obszaru Warszawy. W celu wyeliminowania zmienności warunków siedliskowych na wzrost drzew założono, że wybrane powierzchnie badawcze powinny znajdować się w bardzo zbliżonych, porównywalnych warunkach mikroklimatycznych oraz glebowych. Badania terenowe – zbiór próbek – prowadzono w latach 2011–2013 w obszarze warszawskich dzielnic: Mokotów, Ursynów i Wilanów. Próbki pobierane były na nieużytkach porośniętych spontanicznie roślinnością ruderalną i samosiewami drzew. Badania terenowe pozwoliły zgromadzić materiał badawczy i sporządzić bazę danych dla sześciu gatunków drzew: brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth), dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.), jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior* L.), klonu jesionolistnego (*Acer negundo* L.), klonu pospolitego (*Acer platanoides* L.) oraz topoli osiki (*Populus tremula* L.). Charakterystykę zgromadzonych prób drzew przedstawia tabela 1.

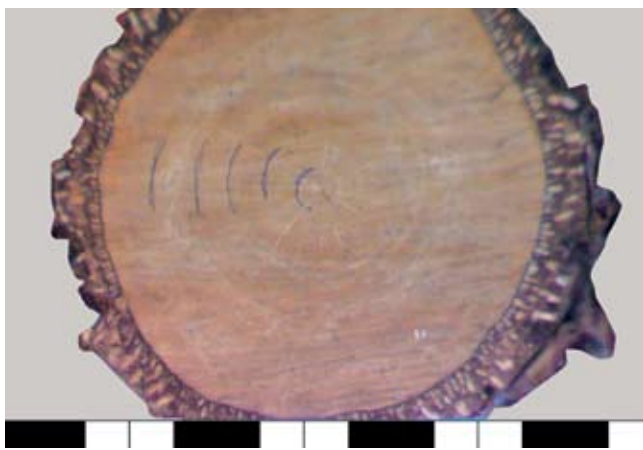
Etap 2 – określenie wieku siewek i młodych drzew na podstawie liczby rocznych przyrostów drewna widocznych na próbkach lub wywiertkach (metody dendrochronologiczne):

- każda próbka zostaje poddana analizie wieku – zliczeniu przyrostów rocznych na przekroju poprzecznym u podstawy pnia (pędu);
- w przypadku gatunków o rozpięrczłonaczyniowej budowie drewna konieczne jest barwienie i, o ile zachodzi taka potrzeba, analiza mikroskopowa w celu ustalenia wieku na podstawie liczby słoików.

Rzeczywisty (kalendarzowy) wiek drzew ustalono na podstawie liczby słoików występujących na poziomie nasady pędu/pnia (szyi korzeniowej). W celu określenia tej liczby stosowano barwienie 5% nadmanganianem potasu, szlifowanie powierzchni przekroju oraz obserwację mikroskopową. W większości przypadków barwienie dawało efekt odwrócenia odcieni (efekt negatywu). Drewno wcześnie – z natury jaśniejsze (większe średnice naczyń) uzyskiwało odcień ciemniejszy, natomiast drewno późne – odcień jaśniejszy. Rezultat uczytelnienia rysunku słoików dla reprezentatywnej partii próbek z każdego gatunku utrwalany był mikroskopem cyfrowym DeltaOptical Smart 2MP (ryc. 1–6).

Badania kameralne pozwoliły uzyskać dane dendrometryczne dla każdej próbki w postaci pary liczb: pierścicowego obwodu pnia [cm] i wieku [lata]. Na tej podstawie można było poszukiwać zależności pomiędzy tymi dwiema zmiennymi.

¹ Badania wykonywano pod kierunkiem autora m.in. podczas zadania badawczego „Określenie progowych parametrów dendrometrycznych dla drzew 10-letnich z wybranych gatunków na potrzeby gospodarki drzewostanami miejskimi”, realizowanego w ramach wewnętrznego trybu konkursowego dla młodych pracowników nauki na Wydziale Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, SGGW w Warszawie w latach 2011–2012.



Ryc. 1. Brzoza brodawkowata (*Betula pendula* Roth).
Rozpierzchnonaczyniowa budowa drewna powoduje, że granice przyrostów rocznych na przekroju poprzecznym próbki nie są wyraźne.
Fig. 1. Silver birch (*Betula pendula* Roth). Diffuseporous wood anatomy makes the annual increments in the cross-section samples not well visible.



Ryc. 2. Dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.). Pierścieniowonaczyniowa budowa drewna umożliwia łatwe policzenie przyrostów rocznych.
Fig. 2. English oak (*Quercus robur* L.).
Ringporous wood anatomy makes the annual increments in the cross-section samples well visible.



Ryc. 3. Jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.). Pierścieniowonaczyniowa budowa drewna umożliwia łatwe policzenie przyrostów rocznych.
Fig. 3. Common ash (*Fraxinus excelsior* L.)
Ringporous wood anatomy makes the annual increments in the cross-section samples well visible.



Ryc. 4. Klon jesionolistny (*Acer negundo* L.). Rozpierzchnonaczyniowa budowa drewna powoduje, że granice przyrostów rocznych na przekroju poprzecznym próbki nie są wyraźne.
Fig. 4. Box elder (*Acer negundo* L.). Diffuseporous wood anatomy makes the annual increments in the cross-section samples not well visible.



Ryc. 5. Klon pospolity (*Acer platanoides* L.). Mimo rozpierzchnonaczyniowej budowy drewna granice przyrostów rocznych na przekroju poprzecznym próbki są czytelne.
Fig. 5. Common maple (*Acer platanoides* L.). With the exception of diffuseporous wood anatomy the annual increments in the cross-section samples are visible.



Ryc. 6. Topola osika (*Populus tremula* L.). Mimo rozpierzchnonaczyniowej budowy drewna granice przyrostów rocznych na przekroju poprzecznym próbki są czytelne.
Fig. 6. Common aspen (*Populus tremula* L.). With the exception of diffuseporous wood anatomy the annual increments in the cross-section samples are visible.

Etap 3 – analiza statystyczna zebranych danych i określenie zależności pomiędzy parametrami drzew i wiekiem. Na podstawie uzyskanych wyników oszacowanie wartości progowych obwodów pni na wysokości 1,30 m nad poziomem gruntu dla drzew w wieku 10 lat.

Wyniki badań

Analiza statystyczna danych

Z literatury przedmiotu wynika, że dynamice wzrostu drzew w funkcji czasu poświęcono już wiele uwagi. Wcześniejsze badania autora potwierdzają, że zależność pomiędzy wiekiem drzewa a obwodem pnia może być z dobrym przybliżeniem opisana za pomocą stosunkowo prostych modeli, takich jak zależność liniowa. Spotykane w literaturze przedmiotu matematyczne modele wzrostu drzew w funkcji czasu oparte są przede wszystkim na metodzie regresji (na przykład Greenberg, Simons 1999, Bolibok, Brzezicki 2000, Peper i in. 2001, Gutsell, Johnson 2002, Larsen, Kristoffersen 2002). Dotyczy to zarówno badań z zakresu leśnictwa, jak i drzew rosnących w warunkach miejskich. Za pomocą regresji można określić wartości najlepszego dopasowania parametrów modelu do danych (Motulsky, Christopoulos 2003).

Stosując regresję do określenia zależności pomiędzy wiekiem drzew a obwodem pnia trzeba zdecydować, która zmienna jest zmienną niezależną (x), a która zmienną zależną (y).² W metodach graficznej interpretacji równań dynamiki wzrostu drzew leśnych czas (wiek) występuje przeważnie jako zmienna niezależna (x), ponieważ to nie ona jest wartością poszukiwaną. Podobnie w przypadku niniejszych badań – poszukiwane są wartości obwodu pnia występujące u drzew w wieku 10 lat. W obrębie poszczególnych przebadanych gatunków drzew do estymacji parametrów każdego modelu regresji liniowej wykorzystane zostały odpowiednie moduły programu STATISTICA 7.0. Oprogramowanie statystyczne umożliwiło, na podstawie dostarczonych danych, przedstawienie wyników (dla każdego badanego gatunku) w postaci matematycznej – równania z jedną zmienną niezależną (wzór 1) oraz w postaci graficznej (ryc. 7–12). Wszystkie parametry modelu regresji oszacowano metodą najmniejszych kwadratów (tab. 1). Współczynnik korelacji (r) podawany był każdorazowo wraz z wartością współczynnika determinacji (r^2) oraz obserwowanym poziomem jego istotności (p).

² Regresja służy do przewidywania wartości zmiennej (y) dla danej wartości (x). Model regresyjny pozwala wyznaczyć linię, która najlepiej przewiduje (y) na podstawie (x). Zastosowana w niniejszej pracy metoda regresji prostoliniowej w celu przewidywania wieku na podstawie parametrów drzew jest spotykana w wielu opracowaniach dotyczących wzrostu drzew w miastach lub drzew alejowych.

Tabela 1. Estymacja parametrów modelu regresji liniowej metodą najmniejszych kwadratów w obrębie poszczególnych badanych gatunków z wykorzystaniem oprogramowania STATISTICA 7.0

Table 1. The estimation of parameters of the linear regression model using least squares method within each species tested using STATISTICA 7.0 software

Lp. No.	Gatunek / Species	Próba [szt] / Sample size [nos.]	Zmienna \bar{x} (wiek) / Variable \bar{x} (age)		Zmienna \bar{y} (obwód) / Variable \bar{y} (circumference)		Parametry równania regresji / The parameters of the regression equation					
			[lata] / [years]	s± [lata] / s± [years]	[cm] / [cm]	s± [cm] / s± [cm]	a	b	r	r ²	p	SEe
1	brzoza brodawkowata (<i>Betula pendula</i>)	39	6,38	2,11	15,01	6,91	-0,138742	2,373136	0,72	0,53	0,0000001791942	4,82
2	dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	32	8,72	3,23	15,87	6,49	-0,197781	1,843115	0,92	0,84	0,0000000000002	2,66
3	jesion wyniosły (<i>Fraxinus excelsior</i>)	33	6,09	2,32	9,95	3,28	2,798719	1,173842	0,83	0,69	0,000000019951	1,85
4	klon jesionolistny (<i>Acer negundo</i>)	78	7,14	1,67	14,04	5,24	2,042708	1,680375	0,54	0,29	0,0000004199671	4,45
5	klon pospolity (<i>Acer platanoides</i>)	37	6,38	1,86	9,44	3,54	0,47811	1,404703	0,74	0,55	0,0000001751150	2,42
6	topola osika (<i>Populus tremula</i>)	62	6,68	2,19	14,30	6,08	0,136601	2,121089	0,76	0,58	0,0000000000006	3,97

- \bar{x} *średnia zmienna niezależna* w próbie (wiek drzewa mierzony w latach);
- \bar{y} *średnia zmienna zależna* w próbie (obwód pierśnicowy pnia drzewa mierzony w cm);
- s_{\pm} *odchylenie standardowe* ze zmiennej a, b;
- r *współczynnik korelacji* jest miarą zgodności: im jego wartość jest większa od zera i bliższa jedności, tym wartość zmiennej niezależnej – wieku drzewa bardziej wpływa na wartość zmiennej zależnej - w tym wypadku obwodu pnia;

$$y(\text{obw}) = a + b \cdot x(\text{wiek})$$

$$y(\text{circuit}) = a + b \cdot x(\text{age})$$

- r^2 *współczynnik determinacji* jest najprostszym sposobem interpretacji (wyjaśnienia) wartości (r); pozwala on określić, w jakim stopniu całkowita zmienność wartości obwodu pnia (y) „tłumaczona” jest zmiennością wieku (x). Współczynnik (r^2) można również określić jako część zmienności wspólną dla obu zmiennych: (y) oraz (x);
- p *obserwowany poziom istotności*: $p > 0,05 = r$ nieistotny statystycznie; $p < 0,05 = r$ istotny statystycznie;
- SEe *błąd standardowy estymacji* – miara dopasowania modelu określa z jakim błędem jest szacowany obwód pnia (y) w zależności od wieku drzewa (x).
- \bar{x} *average independent variable* in the sample (age of the tree measured in years);
- \bar{y} *average dependent variable* in the sample (trunk circumference at breast height measured in cm);
- s_{\pm} *the standard deviation* of the variable a, b;
- r *coefficient of correlation* is a measure of compliance: its value is greater than zero and closer to unity, the value of the independent variable – the age of the tree more impact on the value of the dependent variable – in this case, the trunk circumference.
- r^2 *coefficient of determination* is the easiest way to interpret the value (r) it allows to determine the extent to

which the total variability of trunk circumference (y) “translated” the variability of age (x). Coefficient (r^2) can also be specified as part of the variation shared by the two variables (y) and (x).

p *the observed level of significance*: $p > 0.05 = r$ not statistically significant, $p < 0.05 = r$ statistically significant.

SEe *the standard estimation error* is a measure of the accuracy of predictions circumference of the trunk (y) based on tree age (x).

Wzór 1. Równanie modelu regresji liniowej metodą najmniejszych kwadratów określające zależność zmiennej zależnej – y (obwód pnia mierzony na wysokości 1,30 m nad poziomem gruntu) od wartości zmiennej niezależnej – x (wiek drzewa) dla wybranych gatunków drzew.

Formuła 1. The equation of the linear regression model using least squares method determining the relationship of the dependent variable – y (trunk circumference measured at a height of 1.30 m above the ground) of the independent variable – x (age of the tree) for selected species of trees.

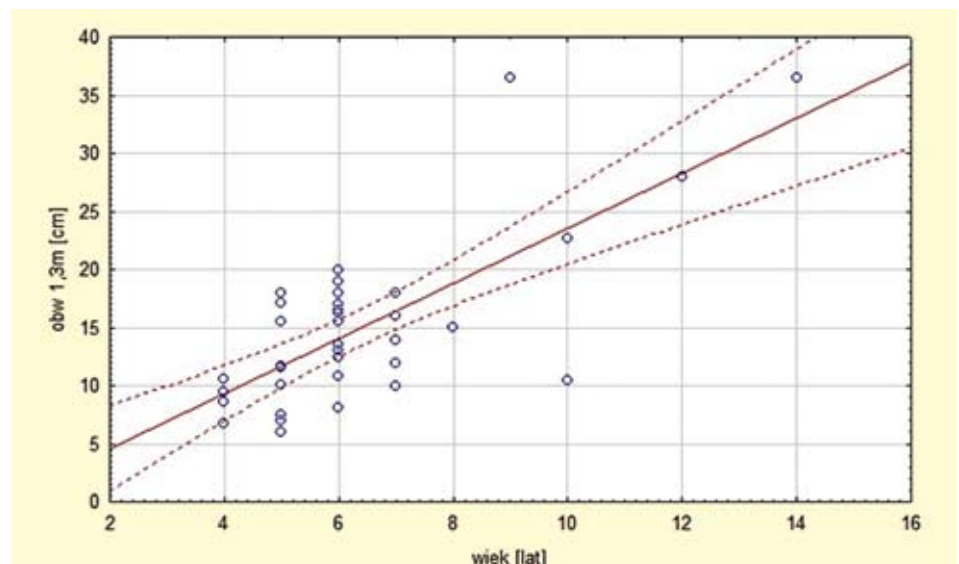
gdzie / where:

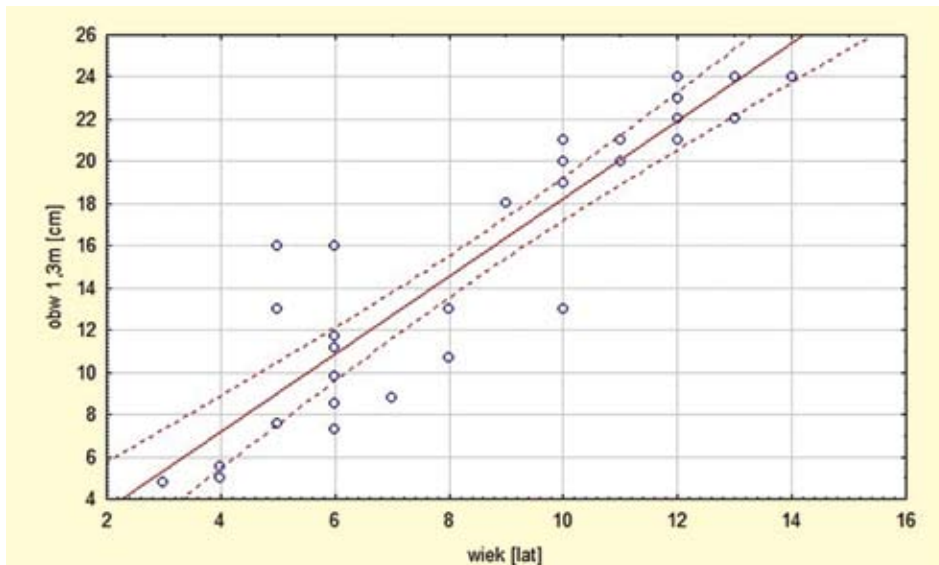
- y (obw) – pierśnicowy obwód pnia drzewa;
y (circuit) – the tree trunk circumference at DBH;
- x (wiek) – wiek drzewa dla poszukiwanego obwodu;
x (age) – age of the tree for looking circumference;
- a; b – parametry równania regresji (tab. 1);
a; b – parameters of the regression equation (tab. 1).

W niniejszej pracy graficzne odwzorowanie modelu regresji zostało zaprezentowane dla każdego gatunku w postaci liniowej (ryc. 7–12), gdzie na osi (x) naniesiono rzeczywisty wiek drzew [lata], a na osi (y) wartości pierśnicowych obwodów pni [cm]. Linia regresji znaleziona przez program statystyczny naniesiona została na układ współrzędnych wraz z punktami reprezentującymi pary danych: wiek–obwód. Dla każdego gatunku zdefiniowano też przedział ufności 95%, którego granice oznaczono liniami przerywanymi.

Ryc. 7. Brzoza brodawkowata (*Betula pendula* Roth) – linia modelu regresji pomiędzy zmienną x (wiek [lat]) a zmienną y (obwód pierśnicowy pnia [cm]) w przedziale ufności 95% (linie przerywane).

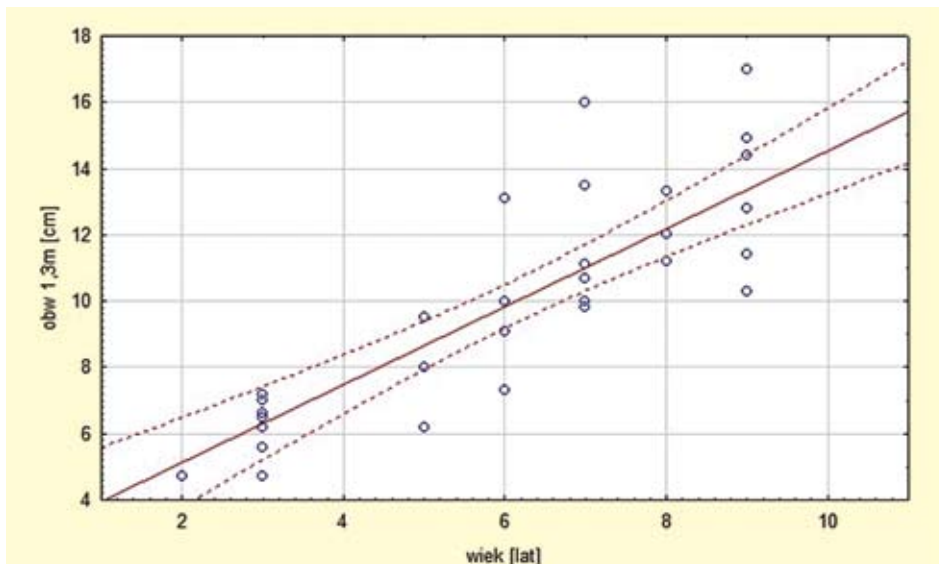
Fig. 7. Silver birch (*Betula pendula* Roth) – regression line between the variable x (age [years]) and the y (trunk circumference at breast height [cm]) at 95% confidence interval (dashed lines).





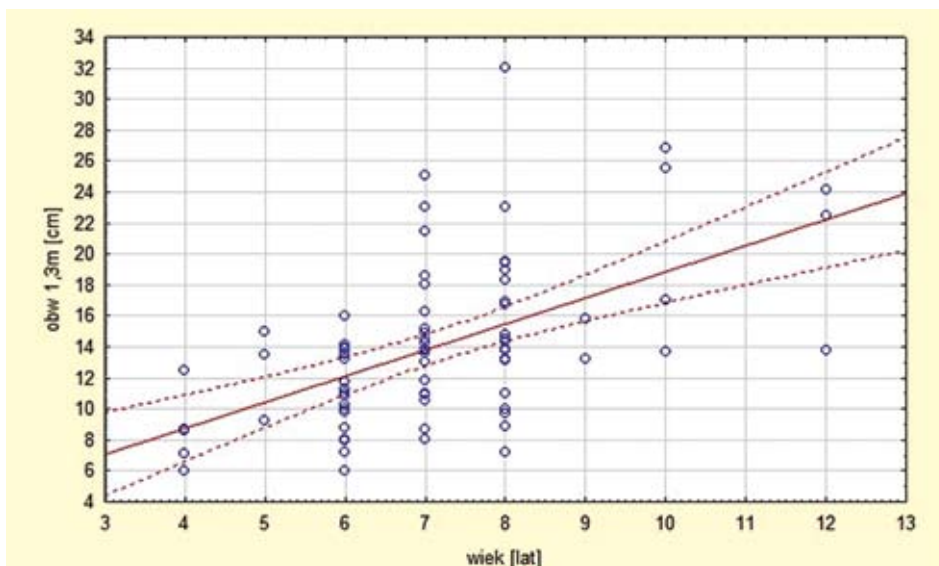
Ryc. 8. Dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.) – linia modelu regresji pomiędzy zmienną x (wiek [lat]) a zmienną y (obwód pierścicowy pnia [cm]) w przedziale ufności 95% (linie przerywane).

Fig. 8. English oak (*Quercus robur* L.) – regression line between the variable x (age [years]) and the y (trunk circumference at breast height [cm]) at 95% confidence interval (dashed lines).



Ryc. 9. Jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.) – linia modelu regresji pomiędzy zmienną x (wiek [lat]) a zmienną y (obwód pierścicowy pnia [cm]) w przedziale ufności 95% (linie przerywane).

Fig. 9. Common ash (*Fraxinus excelsior* L.) – regression line between the variable x (age [years]) and the y (trunk circumference at breast height [cm]) at 95% confidence interval (dashed lines).

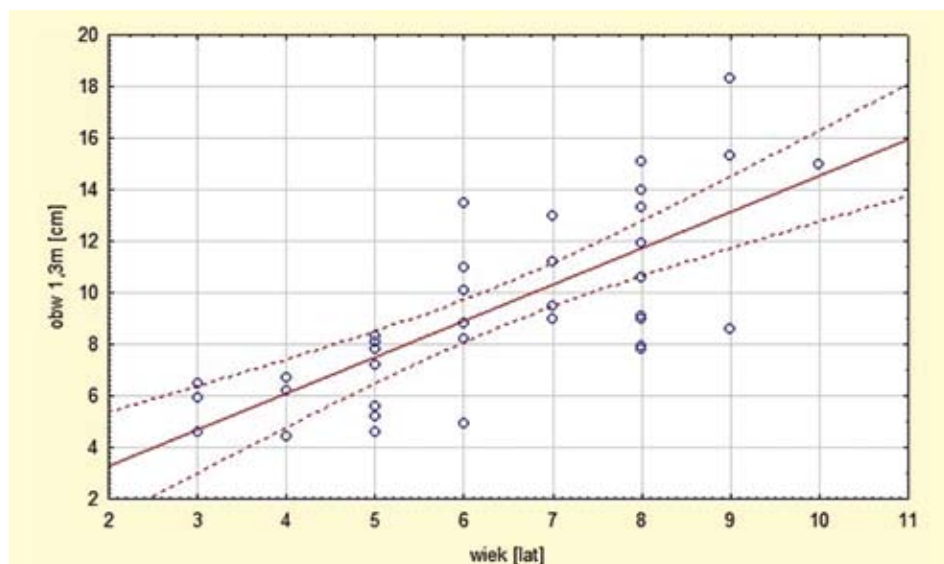


Ryc. 10. Klon jesionolistny (*Acer negundo* L.) – linia modelu regresji pomiędzy zmienną x (wiek [lat]) a zmienną y (obwód pierścicowy pnia [cm]) w przedziale ufności 95% (linie przerywane).

Fig. 10. Box elder (*Acer negundo* L.) – regression line between the variable x (age [years]) and the y (trunk circumference at breast height [cm]) at 95% confidence interval (dashed lines).

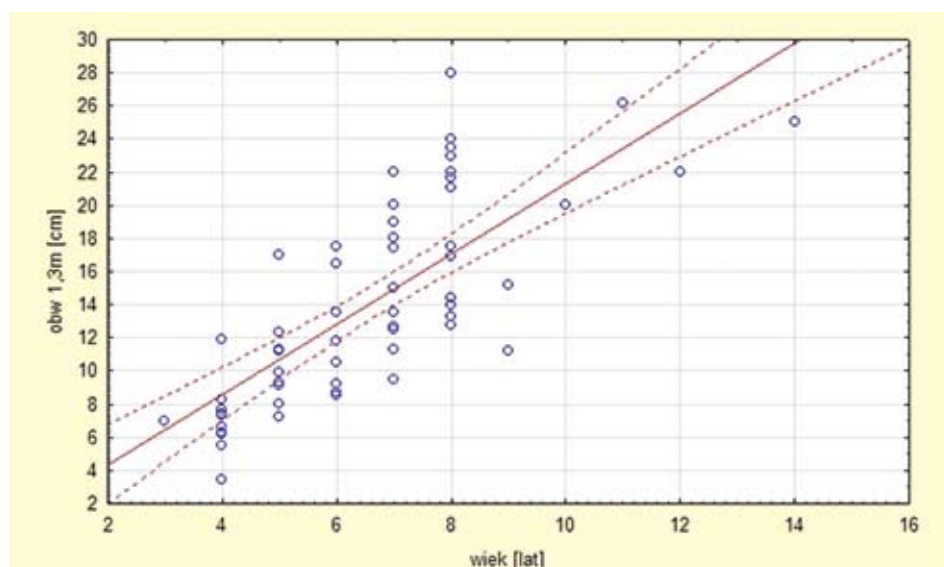
Ryc. 11. Klon pospolity (*Acer platanoides* L.) – linia modelu regresji pomiędzy zmienną x (wiek [lat]) a zmienną y (obwód pierśnicowy pnia [cm]) w przedziale ufności 95% (linie przerywane).

Fig. 11. Common maple (*Acer platanoides* L.) – regression line between the variable x (age [years]) and the y (trunk circumference at breast height [cm]) at 95% confidence interval (dashed lines).



Ryc. 12. Topola osika (*Populus tremula* L.) – linia modelu regresji pomiędzy zmienną x (wiek [lat]) a zmienną y (obwód pierśnicowy pnia [cm]) w przedziale ufności 95% (linie przerywane).

Fig. 12. Common aspen (*Populus tremula* L.) – regression line between the variable x (age [years]) and the y (trunk circumference at breast height [cm]) at 95% confidence interval (dashed lines).



Dyskusja wyników

Komentując uzyskane wstępne wyniki badań należy stwierdzić, że istnieje zasadnicza różnica między określeniem rzeczywistego wieku pojedynczych drzew a przewidywaniem charakterystycznych dla danego wieku rozmiarów (przedziałów) wartości parametrów dendrometrycznych. Określanie wieku pojedynczych drzew na podstawie parametrów dendrometrycznych jest możliwe, ale w takich wypadkach odczyt wieku jest obciążony z reguły bardzo znacznym błędem, ze względu na wyraźną zmienność parametrów dendrometrycznych istniejącą nawet wśród drzew tego samego gatunku, tego samego wieku i rosnących w zbliżonych warunkach siedliskowych. Na błąd ten składa się cały szereg czynników (zmiennych losowych), wreszcie indywidualne cechy żywego organizmu i czynniki siedliska,

których nie sposób całkowicie wyeliminować. Świadczy o tym duży rozrzut punktów widocznych na załączonych rycinach (ryc. 7–12), wartości współczynnika korelacji (r) oraz współczynnika determinacji (r^2) określającego stopień całkowitej zmienności obwodu pnia (y) „tłumaczonej” przez opracowany model regresji zmiennością wieku (x). Jedynie w przypadku dębu szypułkowego ($r > 0,9$) lub jesionu wyniosłego ($r > 0,8$) regresja wskazuje na bardzo dużą zgodność wieku z odpowiednimi obwodami pnia, o czym świadczy współczynnik determinacji (r^2). Model regresji w przypadku dębu szypułkowego tłumaczy aż 83% zmienności obwodu pnia, a w przypadku jesionu wyniosłego – 69% zmienności obwodu. Być może ma to związek z faktem, że zarówno dąb jak jesion nie należą do grupy drzew pionierskich, a zatem ich wzrost odbywa się w sposób bardziej „zrównoważony”. Brzoza brodawkowata, klon pospolity oraz topola osika

wykazują słabsze związki pomiędzy obwodem a wiekiem ($r > 0,7$). Najslabszą zależność prezentuje klon jesionolistny ($r > 0,5$), który cechuje bardzo duża zmienność wzrostu (gatunek pionierski).

Oddziaływanie czynników wewnętrznych i zewnętrznych (zmiennych losowych) na tempo wzrostu drzew w naturze jest na tyle istotne, że jedynie warunki sztucznego i w pełni kontrolowanego eksperymentu pozwoliłyby na ich wyeliminowanie. Tylko w takim przypadku można byłoby osiągnąć stan, kiedy równoletnie drzewa danego gatunku posiadałyby jednocześnie praktycznie identyczne tempo wzrostu, a co za tym idzie – rozmiary. Jedynie wtedy określanie wieku pojedynczych drzew na podstawie ich rozmiarów dałoby wyniki pozytywne – bez znaczących statystycznie błędów.

W praktyce jednak, o czym świadczą uzyskane wyniki, można napotkać liczne przypadki, kiedy rozmiary drzew mylnie świadczą o ich wieku, właśnie z powodów opisanych powyżej. Wyobraźmy sobie sytuację, że dysponujemy obiektywną metodą określania rzeczywistego wieku drzew młodych, a uzyskane nią wyniki traktujemy z całkowitą ufnością. Korzystając z tej metody badamy wiek dwóch samosiewów – drzew z tego samego gatunku rosnących w pobliżu siebie, na przykład wzdłuż granicy zaniedbanej posesji. Jedno z nich jest wyraźnie większe od drugiego (zdecydowanie większy obwód pnia, wysokość, bujniejsza korona i „ładny” pokrój). Po obliczeniu wieku kalendarzowego okazuje się, że drzewo mniejsze przekroczyło wiek 10 lat, a sąsiednie – większe i „ładniejsze” – jest wyraźnie młodsze: ma 7 lat. Tę sytuację można zaobserwować na każdym odwzorowaniu modelu regresji liniowej przedstawionym dla poszczególnych gatunków (ryc. 7–12). W kontekście przytoczonego powyżej przykładu – gdyby chcieć usunąć oba drzewa, postępując według obowiązujących przepisów (ustawa o ochronie przyrody), należałoby w przypadku mniejszego ubiegać się o zgodę organu admi-

nistracji na usunięcie, drugie zaś – większe i dorodniejsze – można by usunąć od razu (bez opłat urzędowych). Rodzi się jednak pytanie, czy środowisko ponosi większą stratę po usunięciu drzewa starszego czy większego? Czy zatem w przypadku drzew parametr wieku bardziej przekłada się na ich siłę vitalną i realną wartość przyrodniczą (produkcja O_2 , pochłanianie CO_2 oraz pyłów i gazów toksycznych, transpirowanie i pochłanianie wody, łagodzenie amplitud temperatur powietrza w skali roku itp.), czy raczej zależy to przede wszystkim od ich rozmiarów?

Wstępne uzyskane wyniki wskazują zatem, potwierdzając zresztą wcześniejsze obserwacje autora, że nie można określić dokładnie wieku pojedynczego drzewa wyłącznie na podstawie parametrów dendrometrycznych. Można natomiast, dysponując zgromadzonymi danymi, po rozbudowaniu bazy danych o wyniki kolejnych pomiarów wskazać przedział, na przykład wartości obwodów pnia, które są wielce prawdopodobne dla drzewa w wieku 10 lat. Chodzi tu zatem o pewien wykładnik – odpowiednik stanu rozwoju typowy dla drzewa dziesięcioletniego. Przedział ufności 95% (a konkretnie – jego dolna granica), określony w niniejszych badaniach przez model regresji dla danego gatunku w wieku 10 lat, uznać można za parametr odniesienia w przypadku oceny wieku pierśnicowego³ pojedynczego drzewa (tab. 2). Umożliwia on ocenę wieku „fizjologicznego”⁴ w oderwaniu od wieku kalendarzowego (fizycznego). W praktyce oznacza to,

³ Wiek pierśnicowy w leśnictwie: liczba lat, jaką drzewo rosło od chwili osiągnięcia wysokości 1,3 m (= liczba słoików na pierśnicy). W niniejszych badaniach wiek pierśnicowy należałoby rozumieć raczej jako określony wiek, na przykład 10 lat, przypisany do oczekiwanego wymiaru obwodu pierśnicowego.

⁴ Wiek „fizjologiczny” drzewa na potrzeby niniejszych badań można interpretować przez analogię, jako wiek gospodarczy stosowany w leśnictwie i oznaczający liczbę lat, jakiej potrzebuje drzewo, by rosąc w normalnych warunkach rozwojowych osiągnąć swoje obecne wymiary (Gierszyński 1959, s. 261).

Tabela 2. Oczekiwane zgodne z modelem regresji wartości typowego obwodu pierśnicowego pnia drzew z wybranych gatunków w wieku 10 lat wraz z określonymi przedziałem ufności 95% progowymi wartościami obwodów pierśnicowych pnia

Table 2. The expected values of trunk typical circumference at breast height of trees from selected species at 10 years of age consistent with regression model, together with determined values of trunk circumference at breast height by confidence interval 95% threshold

Lp. No.	Gatunek / Species	wiek 10 lat / oczekiwany obwód typowy pnia [cm], h=1,3 m 10 years age / the expected typical trunk circumference [cm], h=1,3 m	wiek 10 lat / obwody progowe pnia (przedział ufności 95%) 10 years age / threshold trunk circumferences (95% confidence interval)	
			[cm]	[cm]
1	brzoza brodawkowata (<i>Betula pendula</i>)	23,6	20,5	26,7
2	dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)	18,2	17,2	19,3
3	jesion wyniosły (<i>Fraxinus excelsior</i>)	14,5	13,2	15,8
4	klon jesionolistny (<i>Acer negundo</i>)	18,8	16,8	20,8
5	klon pospolity (<i>Acer platanoides</i>)	14,5	12,7	16,3
6	topola osika (<i>Populus tremula</i>)	21,3	19,5	23,2

że jeśli drzewo osiągnie rozmiary uznane za typowe dla wieku 10 lat, to niezależnie od faktycznego wieku tego drzewa należy je traktować jako drzewo w tym właśnie wieku. Drzewo o rozmiarach powyżej tego ustalonego empirycznie progu uznawać należy za drzewo starsze, podlegające ustawowej ochronie przed dewastacją lub samowolnym usunięciem bez wymaganego urzędowego zezwolenia.

Wnioski

W świetle prezentowanych w niniejszej publikacji wyników można stwierdzić, że stosowanie w gospodarce drzewostanami wymogu uzyskania zezwolenia na usunięcie drzew jest dużo bardziej racjonalne, kiedy odwołuje się do kryterium osiąganych przez drzewa rozmiarów (wieku „fizjologicznego”) niż do kryterium wieku faktycznego – kalendarzowego (jak ma to miejsce w obecnie obowiązujących przepisach).

Teoretyczna predykcja wieku fizycznego pojedynczego drzewa na podstawie parametrów dendrometrycznych w oparciu o model regresyjny nie jest możliwa ze względu na bardzo duży udział zmienności nie tłumaczonej przez model regresji.

Wstępne wyniki badań wskazują, że można określić wykładnik parametrów dendrometrycznych (na przykład obwodu pierśnicowego) bardzo prawdopodobny dla drzewa w wieku 10 lat, czyli oczekiwany odpowiednik stanu rozwoju typowy dla drzewa dziesięcioletniego z danego gatunku.

Z dokonanych badań wynika, że w oparciu o zmienność tłumaczoną przez model regresji i na podstawie wyznaczonego przedziału ufności można określić wartość graniczną obwodu pierśnicowego, po przekroczeniu której oczekuje się, że drzewo osiągnęło wiek pierśnicowy powyżej 10 lat.

Literatura

- BOLIBOK L., BRZEZIECKI B. 2000. Analiza wybranych zależności allometrycznych dla głównych gatunków drzew Białowieskiego Parku Narodowego. *Sylwan* 144(4): 73–81.
- BRASCH S., MCPHERSON E.G., LINSEN L. 2009. Interactive data visualization for animating urban tree growth. *International Journal of Modelling and Simulation* 29(3): 306–314.
- GIERUSZYŃSKI T. 1959. Pomiar drzew i drzewostanów. PWRiL, Warszawa.
- GREENBERG C.H., SIMONS R.W. 1999. Age, composition, and stand structure of old-growth oak sites in the Florida high pine landscape: implications for ecosystem management and restoration. *Natural Areas Journal* 19: 30–40.
- GUTSELL S.L., JOHNSON E.A. 2002. Accurately ageing trees and examining their height-growth rates: implications for interpreting forest dynamics. *Journal of Ecology* 90: 153–166.
- LARSEN F.K., KRISTOFFERSEN P. 2002. Tilia's physical dimensions over time. *Journal of Arboriculture* 28(5): 209–214.
- LINSEN L., KARIS B.J., MCPHERSON G., HAMANN B., 2005. Tree Growth Visualization. *The Journal of WSCG* 13 (January 31–February 4): 81–88.
- ŁUKASZKIEWICZ J. 2010. Określanie wieku niektórych gatunków drzew ulicznych na podstawie wybranych parametrów dendrometrycznych. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 58: 25–38.
- MOTULSKY H.J., CHRISTOPOULOS A. 2003. Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting. GraphPad Software Inc., San Diego CA. www.graphpad.com [dostęp: 15 sierpnia 2006].
- PEPER J.P., MCPHERSON G.E., MORI S.M. 2001. Equations for predicting diameter, height, crown width and leaf area of San Joaquin Valley street trees. *Journal of Arboriculture* 27(6): 306–317.
- PISARCZYK E., KASPRZAK K. 2013. Debata nad zmianą przepisów w zakresie ochrony terenów zieleni i zadrzewień. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Departament Ochrony Środowiska. http://www.gdos.gov.pl/Articles/view/1904/Ochrona_zadrzewien [dostęp: 5 lipca 2013].
- SIEWNIAK M., SZYMAŃSKI J. 2012. Wielkości obwodów pierśnicowych pni drzew w wieku 10 lat. *Uprawa i ochrona drzew* 26: 7–21.
- Ustawa o ochronie przyrody, 2004. *Dziennik Ustaw* 92 (poz. 880, art. 83, ust. 6, pkt 4).