

Zdrowotność oraz czas zarastania sęków po podkrzesaniu dębu

Knot soundness and occlusion time after artificial pruning of oak

Piotr S. Mederski^{1*}, Dariusz Szczawiński^{1,2}, Dieter F. Giefing¹, Kwiryn Naparty^{1,3}, Mariusz Brunka^{1,4}

¹Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Leśny, Katedra Użytkowania Lasu, ul. Wojska Polskiego 71A, 60-625 Poznań;

²Nadleśnictwo Lidzbark, Lidzbark-Nadleśnictwo 1, 13-230 Lidzbark; ³Nadleśnictwo Pniewy, ul. Wolności 4, 62-045 Pniewy;

⁴Nadleśnictwo Rytel, Rytel-Dworzec 4, 89-642 Rytel

*Tel. +48 61 8487761, e-mail: piotr.mederski@up.poznan.pl

Abstract. Artificial pruning of trees can improve wood quality as well as enhance timber value. Currently, pruning is quite common when veneer timber or plywood, is in demand. Cutting off branches, however, creates open wounds in the form of knots, which are exposed to infections. While the pruning of coniferous trees is well-studied, less research has been carried out on broadleaved trees. The objective of this work was to determine 1) if the artificial pruning of oak can lead to decaying knots, 2) if so, how big the decaying zone around the unsound knot is, and 3) how much time is needed for knot occlusion after artificial pruning. 13- and 16-year-old oak trees located in Northern Poland (Lidzbark Forest District) were used in this study and ten years after pruning, sample trees were selected in order to determine if the knots were sound and how many years it had taken for each knot to be overgrown. The results were compared with those of knots on trees caused by natural pruning. In total, 419 and 104 knots resulting from artificial and natural pruning, respectively, were analysed. It was found that 95% of the artificially pruned knots had very little decay showing an average of 1.13 cm of unsound knot zone. On the naturally pruned control trees, 98% of the knots were unsound with nearly double the amount of knot decay zone. Additionally, the artificially pruned knots needed less than five years to overgrow, while it took over eleven years to occlude the naturally pruned knots. Therefore, the artificial pruning of oak trees is recommended, even though a very small decay zone may appear on the knots, because it takes half the time for these artificial knots to be overgrown in comparison with unpruned trees.

Keywords: sound knot, decayed knot, natural pruning, broadleaved trees

Słowa kluczowe: sęk zdrowy, sęk zepsuty, oczyszczanie się drzew, drzewa liściaste

1. Wstęp

Zabieg podkrzesywania stosowano już na przełomie XVI i XVII wieku w Japonii, a pierwszym krajem europejskim, w którym pojawiły się wzmianki na ten temat było Królestwo Anglii (Evelyn 1670). Od tamtego czasu ukazało się wiele opracowań, instrukcji i zasad zmieniających się i często prezentujących skrajnie różne poglądy (Giefing 1999). W pewnych okresach zabieg ten cieszył się dużym zainteresowaniem, bądź przeciwnie, uważano go za mało efektywny (Leibundgut 1966; Pazdrowski 1992).

Pierwsze nienaukowe prace niemieckie o podkrzesywaniu pochodzą z roku 1713 (Carlovitz 1713), a pierwszą publikację o charakterze naukowym wydano w roku 1764 (Duhamel du Monceau 1764). Dotyczyła ona wpływu podkrzesywania drzew z żywych gałęzi na ich przyrost. Niemieccy leśnicy publikowali swoje pierwsze wyniki badań nad podkrzesywa-

niem w formie prac naukowych dopiero około stu lat później. Wykazywali w nich skutki przyrostowe podkrzesywania. Na przykład Heyer (1872) stwierdził podwójny przyrost świerków na początku okresu wegetacyjnego po wykonaniu zabiegu.

Sugestie wielu praktyków dotyczące rzekomo niekorzystnego wpływu podkrzesywania na drzewa skłoniły Loreya (1907), Lakariego (1920), Hilfa (1933) i Koehlera (1934) do podjęcia badań w celu zweryfikowania wygłaszanych poglądów. Badania tych autorów wykazały, iż mogą powstawać przebarwienia lub nawet zgnilizna drewna, rozchodzące się od sęków pozostałych po usuniętych żywych gałęziach. Wyniki te przyczyniły się do zaniechania podkrzesywania drzew z żywych gałęzi w wielu krajach, między innymi w Polsce. Jednak w kolejnych latach praca Mayer-Wegelin (1936) rzuciła nowe światło na zagadnienie wpływu usuwania żywych gałęzi na stan zdrowotny drzew. Po ponownym przebadaniu

Wpłynęło: 14.02.2019 r., recenzowano: 21.02.2019 r., zaakceptowano: 13.03.2019 r.

świerka, Paterson (1938) nie stwierdził wyżej wspomnianych wad wynikłych z podkrzesywania żywych gałęzi. Podobnie Romell (1940) uważał, że nie ma potrzeby stosowania zakazu usuwania żywych części koron drzew. W późniejszym okresie podobne stwierdzenia wyrażali Krigul (1961) oraz Lücke (1968), którzy uważali, iż rany po okrziesaniu żywych gałęzi są zalewane żywicą hamującą infekcję grzybów, a co za tym idzie – rozwój zgnilizny. Również inni autorzy potwierdzali spostrzeżenia, iż po usunięciu gałęzi infekcje nie występowały lub pojawiały się sporadycznie (Kramer 1962; Henman 1963; Pazdrowski 1985).

Istotny wpływ wieku podkrzesywanych drzew oraz jakości podkrzesywania zauważył Abman (1961). Stwierdził on, iż niebezpieczeństwo infekcji wzrasta w drzewostanach średnich i starszych klas wieku, a także gdy rany są duże i zanieczyszczone. Niebezpieczeństwo infekcji określono jako szczególnie duże w przypadku usuwania grubych, żywych gałęzi, w których z dużym prawdopodobieństwem można oczekiwać wykształconej już twardzieli (Giefing 1987). Z tego też względu zalecano wykonanie zabiegu podkrzesania przed osiągnięciem wieku kulminacji przyrostu drzew (Giefing 1999).

Najkorzystniejsze wydaje się podkrzesywanie przed osiągnięciem przez drzewo 20 lat. Podobne stanowisko zajął w 1930 roku Dudik (1930, za Giefingiem 1999), pisząc, iż zabieg powinien być wykonany w drzewostanach młodszych, w wieku nie wyższym niż 25–30 lat. Z uwagi na kosztocłonność zabiegu oraz możliwość obniżenia się przyrostu, a tym samym wydłużenie czasu zarastania, podkrzesywaniem powinno się objąć drzewostany na najlepszych siedliskach (Žumer 1966; Giefing 1987). Nie jest ekonomicznie uzasadnione podkrzesywanie wszystkich drzew w drzewostanie. Do wykonania zabiegu powinno się przeznaczyć drzewa najlepsze, tzw. elitę drzewostanu (Szymański 1991), a więc I i II klasę Krafta. Podkrzesanie tych drzew, charakteryzujących się z natury dużą dynamiką wzrostu, umożliwi z jednej strony szybki przyrost miąższości strefy bezszęcznej, z drugiej zaś uzyskanie najkrótszego, możliwego do osiągnięcia w danym drzewostanie czasu zarastania sęków.

Dla uzyskania dobrej zdrowotności drzew po zabiegu ważnym zagadnieniem są jego aspekty techniczne, to znaczy rodzaj użytych narzędzi i wybór metody podkrzesywania. Mimo iż podkrzesywanie uważa się za jeden z najstarszych zabiegów hodowlanych stosowanych w leśnictwie, to dopiero około stu lat temu ukazały się pierwsze publikacje traktujące o wpływie narzędzi i metod na jakość zabiegu (May 1889, 1890, 1891; Guillebaud 1933; Laar 1966).

W ślad za badaniami zmieniało się podejście praktyków do tego zabiegu. Początkowo stosowano najróżniejsze narzędzia, co sprzyjało powstawaniu uszkodzeń (Giefing 1993). Następnie wyeliminowano narzędzia udarowe: siekiery, tasaki i korowniki, a zalecano piły ręczne (Lelbach 1859). Badania nad stosowaniem nożyc i sekatorów wykazały, iż podczas ścinania powstawały mikropęknięcia, które w połączeniu z niewielkimi tylcami sprzyjały powstawaniu infekcji (Mayer-Wegelin 1952; Aboney 1981). Ostatecznie za najlepsze narzędzia do podkrzesywania uznano piły ręcz-

ne, dające równą i gładką powierzchnię cięcia, umożliwiające obcinanie gałęzi równo z poboczną pnia i nieraniące przy tym samego drzewa. Pogląd taki, już w roku 1930, publikował m.in. Dudik (za Giefingiem 1999).

Główną zaletą podkrzesywania jest uzyskanie szerszej strefy drewna bezszęcznego, charakteryzującego się znaczną homogenicznością oraz poprawą takich cech jak gęstość, wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien a także kurczliwość (Pazdrowski 1984) i twardość (Pazdrowski, Cybulko 1988).

Uzyskanie większej strefy drewna bezszęcznego jest jednym z czynników uzasadniających podkrzesywanie. Zabieg ten jednak otwiera tkankę drzewną na działanie czynników zewnętrznych. O ile gatunki iglaste są dobrze poznane pod względem reakcji na zabieg podkrzesywania, co jest zapewne spowodowane ich udziałem procentowym w składzie drzewostanów i ich dużym znaczeniem gospodarczym, to badań na temat gatunków liściastych jest znacznie mniej. Wzrastający udział tych gatunków związany z przebudową drzewostanów wskazuje na potrzebę analizy gatunków liściastych.

Jednym z istotnych gospodarczo gatunków jest dąb, który jest przedmiotem badań w niniejszej pracy. Drewno dębowe wysokiej jakości, bezszęczne, osiąga wysokie ceny. Jest zwykle sprzedawane w ramach aukcji lub submisji i osiąga szczególnie wysokie ceny ze względu na bezszęczność i inne cechy pozwalające na uzyskanie materiału okleinowego (Paschalis-Jakubowicz et al. 2015). Mając na uwadze wysokie wymagania wobec drewna dębowego okleinowego, za cel pracy przyjęto określenie zdrowotności sęków dębu oraz tempa ich zarastania po zabiegu podkrzesywania.

2. Materiał i metody

Materiał badawczy pobrano z Nadleśnictwa Lidzbark w Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Olsztynie. Na potrzeby podkrzesywania wyznaczono łącznie pięć powierzchni próbnych, po jednej w pododdziałach 63d, 72b, 82a, oraz dwie w pododdziale 82d (tab. 1), wszystkie na siedlisku lasu mieszanego świeżego (LMśw).

Wiosną 1995 roku podkrzesano dęby na gniazdach założonych w ramach rębni gniazdowej zupełnej (IIIA). Zabieg został wykonany metodą selekcyjną (klasyczną) przy użyciu piłek ręcznych do podkrzesywania. Do podkrzesania wybrano drzewa z najwyższych grup biosocjalnych, o dobrze rozwiniętej koronie: górujące i panujące, czyli z I i II klasy Krafta (Giefing 1999). Drzewa takie charakteryzują się dużymi przyrostami i małym ryzykiem pogorszenia pozycji biosocjalnej w przyszłości, a więc charakteryzują się dużą żywotnością. Zakładano, że drzewa o większej żywotności będą przyrastać na grubość intensywniej (Szewczyk, Guz 2012), dzięki czemu w krótszym czasie nastąpi zarośnięcie sęka i zmniejszenie ryzyka infekcji.

Z założenia usuwano gałęzie równo z poboczną pnia, tak aby nie pozostawiać tylców. Każde gniazdo stanowiło odrębną powierzchnię badawczą. Wiek drzew w momencie podkrzesania na jednej powierzchni wynosił 13 lat, na pozostałych 16 lat.

Tabela 1. Charakterystyka powierzchni próbnych i wybranych drzew dębowych

Table 1. Characteristics of sample plots and selected oak trees

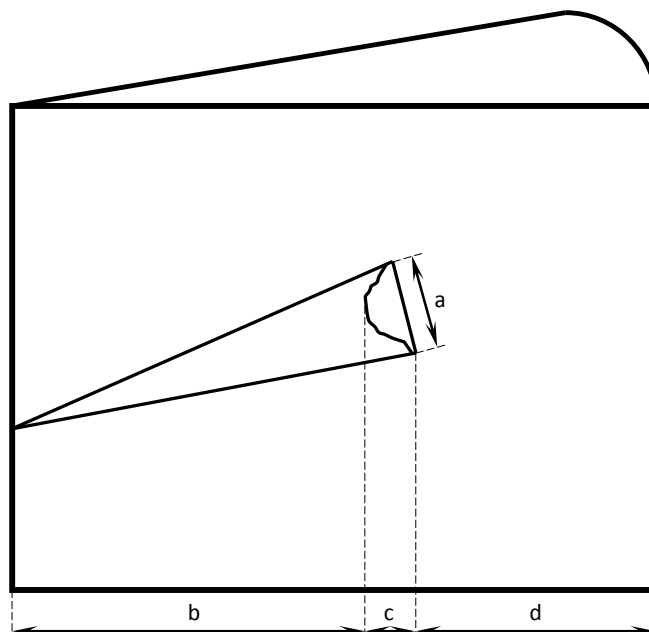
Cecha Feature	Podkrzesane Pruned				Niepodkrzesane Unpruned	
Pododdział Subcompartment	63d	72b	82a	82d	82d	165c
Udział dębu w składzie gatunkowym [%] Share of oak in species composition [%]	20	10	10	20	20	30
Bonitacja Bonitation (soil productivity)	2	2	2	2	2	2
Wiek drzew w roku podkrzesania [lata] Age of trees at the age of pruning [years]	13	16	16	16	16	26
Wiek ściętych drzew [lata] Age of felled trees [years]	23	26	26	26	26	36
Liczba drzew [n] Number of trees [n]	3	3	3	3	3	3

W roku 2005 na każdym gnieździe pomierzono pierścnie wszystkich drzew podkrzesanych i po kilka wysokości w każdym z dwucentymetrowych stopni grubości. Stosując metodę Uricha II, wyliczono wymiary trzech drzew modelowych na każdym gnieździe. Następnie wybrano na powierzchniach po trzy drzewa próbne o wymiarach najbardziej zbliżonych do drzew modelowych; łącznie 15 drzew. Drzewa ścięto pilarką i z każdego pozyskano wałki długości ok. 2 m ze strefy podkrzesanej. Następnie podkrzesane wałki pocięto na około 30-centymetrowej długości odcinki z zarośniętymi sękami, stanowiące próbki do dalszych badań. Pozyskane wałki oraz otrzymane krótkie odcinki opisywano w taki sposób, aby móc ustalić położenie sęka względem podstawy pnia. Dokonano również pomiaru średnicy pnia w miejscu występowania każdego sęka.

Za pomocą siekiery oraz klinów i młota łupano odcinki pnia w taki sposób aby odsłonić przebieg sęka w płaszczyźnie promieniowej. Okolice występowania sęka określano na podstawie rysunku kory po zarośniętym sęku.

Na odkrytych sękach mierzono ich cechy z dokładnością do 1 mm: a) maksymalną grubość sęka, b) szerokość strefy sęka zdrowego, c) szerokość strefy sęka zepsutego oraz d) szerokość strefy bezsęczonej, w której ustalono liczbę lat niezbędną do pełnego zarośnięcia sęka (ryc. 1).

W grudniu 2010 roku pozyskano trzy drzewa próbne kontrolne, niepodkrzesane (naturalnie oczyszczające się), w pododdziale 165c, w drzewostanie na siedlisku LMśw (tab. 1). Wyboru drzew dokonano wg tych samych metod jak w przypadku drzew podkrzesanych, podobnie postępowano w przypadku wycięcia wałków oraz w przygotowaniu odcinków do analizy procesu zarastania sęków po naturalnym oczyszczaniu się drzew. Wiek drzew w momencie pozyskania wynosił 36 lat. Do porównania wybrano drzewostan o 10 lat starszy od drzew podkrzesanych. Założono, iż proces oczyszczania się drzew w drzewostanie o ok. 10 lat starszym będzie przebiegał na wysokości zbliżonej do wysokości podkrzesania, tj. ok. 4 m.



Rycina 1. Elementy pomiaru sęka oraz przyległych stref: a) grubość sęka, b) szerokość strefy sęka zdrowego, c) szerokość strefy sęka zepsutego, d) szerokość strefy bezsęczonej

Figure 1. Parameters of knot and surrounding areas: a) knot thickness, b) width of sound knot zone, c) width of unsound knot zone, d) width of wood zone without knot

Parametry sęków i stref przyległych z drzew podkrzesanych porównywano z odpowiednimi elementami sęków z drzew niepodkrzesanych. W tym celu obliczono statystyki pozycyjne oraz porównano dane obu grup (podkrzesane i niepodkrzesane) za pomocą testu U Manna-Whitneya przy $\alpha=0,05$. Wybrano test nieparametryczny ze względu na brak rozkładów normalnych (sprawdzanych testem W Shapiro-Wilka) oraz różnorodność liczby danych (sęków) z drzew

podkrzesanych i niepodkrzesanych. W przypadku korelacji zastosowano test Spearmana. Testy przeprowadzono za pomocą programu Statistica 13.3 (StatSoft 2018), statystyki pozycyjne obliczono w programie Excel.

3. Wyniki

Z podkrzesanych drzew uzyskano 419 sęków do dalszych analiz oraz 104 sęki z drzew naturalnie się oczyszczających (tab. 2). Średnie średnice pni w miejscu występowania sęków na drzewach podkrzesanych były nieco większe niż na niepodkrzesanych i różniły się statystycznie (p -value=0,0004; tab. 2). W analizowanych pniach sęki były położone na podobnej, średniej wysokości (143 i 140 cm, odpowiednio u drzew podkrzesanych i naturalnie oczyszczonych), przy czym najwyżej położony sęk na drzewach niepodkrzesanych był na wysokości 325 cm, o 60 cm niżej niż najwyżej położony sęk na drzewach podkrzesanych.

Przeciętna grubość sęka na drzewach naturalnie oczyszczonych była o 22% większa niż na drzewach podkrzesanych, przy czym różnice te nie były istotne statystycznie (tab. 2). Strefa sęka zdrowego była większa o 13% u drzew podkrzesanych i różnice te były istotne statystycznie (p -value=0,0449).

U drzew podkrzesanych nie wystąpiło również pogorszenie zdrowotności przyległej tkanki drzewnej słoju rocznych, w żadnym przypadku nie stwierdzono zgnilizny i zabarwień o charakterze patogenicznym w otaczającym sęki drewnie (ryc. 2).

Wyjątkowo powstawał zakorek (ryc. 3 i 4), który wystąpił przy 2 sękach na przebadanych 419, co stanowiło mniej niż 0,5% badanych przypadków.

Strefa sęka zepsutego była znacznie mniejsza u drzew podkrzesanych, 37% mniejsza niż u drzew naturalnie się oczyszczających (tab. 2); różnica ta była istotna statystycznie (p -value=0,0000). Również czas zarastania sęków był krótszy na drzewach podkrzesanych. Drzewa oczyszczające się natural-

Tabela 2. Charakterystyka pni i sęków drzew dębowych podkrzesanych i niepodkrzesanych

Table 2. Characteristics of stems and knots of pruned and unpruned oak trees

Cecha Feature	Drzewo Tree	Średnia Mean	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	SD SD	N N
Średnica pnia w miejscu osadzenia sęka przy rdzeniu [cm] Stem diameter at height of knot position near pith [cm]	Podkrzesane Pruned	13,70 ^a	7,00	28,00	3,68	419
	Niepodkrzesane Unpruned	11,23 ^b	6,00	20,00	4,13	104
Wysokość osadzenia sęka przy rdzeniu do podstawy pnia [cm] Height of knot position near pith to bottom of stem [cm]	Podkrzesane Pruned	143,25 ^a	5,00	385,00	86,18	419
	Niepodkrzesane Unpruned	140,75 ^a	8,00	325,00	90,05	104
Maksymalna grubość sęka, prostopadle do osi sęka [cm] Maximal knot thickness, perpendicular to knot axis [cm]	Podkrzesane Pruned	1,11 ^a	0,10	8,00	1,10	419
	Niepodkrzesane Unpruned	1,35 ^a	0,20	12,00	1,45	104
Szerokość strefy sęka zdrowego [cm] Zone width of sound knot [cm]	Podkrzesane Pruned	2,85 ^a	0,00	9,50	1,53	419
	Niepodkrzesane Unpruned	2,53 ^b	0,00	8,20	1,45	104
Szerokość strefy sęka zepsutego [cm] Zone width of unsound knot [cm]	Podkrzesane Pruned	1,13 ^a	0,00	8,00	1,24	419
	Niepodkrzesane Unpruned	2,07 ^b	0,00	6,10	1,06	104
Czas zarastania sęka [lata] Occlusion time [years]	Podkrzesane Pruned	4,99 ^a	1,00	19,00	2,66	419
	Niepodkrzesane Unpruned	11,21 ^b	0,00	22,00	4,62	104

SD – odchylenie standardowe; różne litery przy wartościach średnich oznaczają różnice istotne statystycznie / standard deviation; different letters next to mean values show statistically significant differences, $\alpha=0,05$

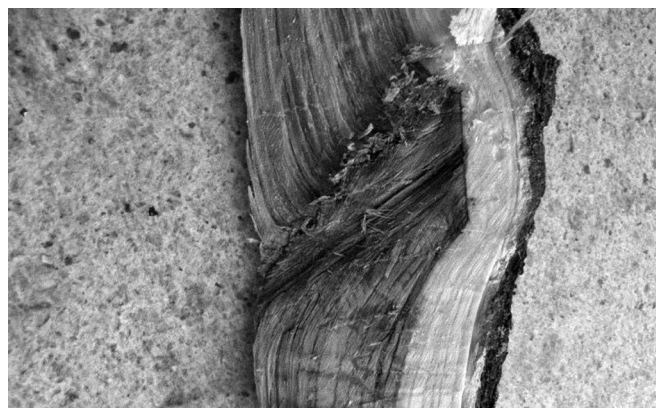
nie potrzebowały ponad dwa razy więcej czasu (ponad 11 lat, tab. 2) na zarośnięcie sęków w badanej strefie pnia do 3,25 m (przypadki zarastania sęków dłuższe niż 10 lat oznaczają, iż część gałęzi została usunięta przez inne czynniki niż zaplanowane podkrzesanie). Wykazane różnice w czasie zarastania sęków były bardzo wyraźne i istotne statystycznie ($p\text{-value}=0,0000$).

Szczegółowa analiza danych pozwoliła również na ustalenie, iż 10 lat po podkrzesywaniu było ok. 5% sęków bez oznak występowania zepsucia. Na drzewach niepodkrzesanych tylko na dwóch sękach nie obserwowano śladów zepsucia, co stanowiło ok. 2% badanej liczby sęków.

Dodatkowa analiza korelacji Spearmana wykazała zależność pomiędzy grubością sęka zepsutego i szerokością strefy sęka zepsutego $r_s=0,36$, z zależnością istotną statystycznie $p<0,05$.

4. Dyskusja

Sęki są naturalnym elementem drzewa, choć zakres ich występowania można ograniczyć w procesie podkrzesywania.



Rycina 2. Przykład sęka po gałęzi obciętej równo z poboczną. Sęk zdrowy, całkowicie zarośnięty, tkanka drzewna w okolicach sęka całkowicie zdrowa.

Figure 2. Example of knot after artificial pruning of branch along with stem surface. Sound knot fully occluded with sound wood tissue around knot.



Rycina 3. Sęk po odciętej gałęzi, zarośnięty z niewielkim zakorkiem, całkowicie zdrowy. Tkanka drzewna w okolicach sęka zupełnie zdrowa.

Figure 3. Sound knot after artificial pruning, fully occluded with small bark pocket. Sound wood tissue around knot.

W ciągu ponad czterech wieków podkrzesywania zmieniały się poglądy dotyczące tego zabiegu (Giefing 1994). W pewnych okresach zabieg ten cieszył się dużym zainteresowaniem, ale bywało też, że uważano go za mało efektywny i odradzano jego stosowanie (Leibundgut 1966; Korpel 1977). Dzisiejsza wiedza dotycząca podkrzesywania gatunków iglastych, przede wszystkim sosny, jest bardzo dobrze podbudowana szerokimi badaniami naukowymi i ugruntowana. Mając na uwadze wskazane informacje trzeba stwierdzić, iż można podkrzesywać drzewa, usuwając gałęzie zarówno martwe, jak i żywe, bez pozostawiania tylców, równym, gładkim cięciem wzdłuż pobocznic pnia. Zabieg powinien być przeprowadzony w wieku przed wykształceniem się twardzieli w gałęziach, aby zmniejszyć ryzyko infekcji wewnątrz pnia (Giefing 1999). Wskazane jest aby zabieg wykonywać na dobrych siedliskach, pierwszej lub ewentualnie drugiej bonitacji, stosując metody selekcyjne. Podkrzesywanie gatunków liściastych jest wciąż dyskusyjne, a z uwagi na ich znaczenie i związaną z tym małą dostępność materiałów badawczych, mniej poznane.

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, iż dąb dobrze znosi podkrzesywanie zarówno martwych, jak i żywych gałęzi, reagując zwiększeniem udziału strefy bezszczernej i zmniejszeniem rozmiaru strefy drewna z zalegającymi sękami.

Zgnilizny występowały w sękach w niewielkich rozmiarach. Obliczona korelacja wskazuje, iż na większych sękach może rozwijać się większa zgnilizna. Wskazuje to na zasadność podkrzesywania na możliwie wczesnym etapie, gdy średnice gałęzi są stosunkowo niewielkich rozmiarów.

Przedstawione badania potwierdzają rzadkie powstawanie zakorka. Giefing i in. (2011) również stwierdzili raczej wyjątkowe występowanie tej wady w towarzystwie sęków, tj. w jednym przypadku na 59.

Z wcześniejszych badań podkrzesywania dębu wynika, iż nie występowały przypadki zgnilizny lub zabarwień w drewnie otaczającym sęki (Szczawiński, Zawisłak 1997). Należy zaznaczyć, iż Pikulik (2007) stwierdziła przebarwienia w strefie zalegania sęków zarówno w drewnie dębów pod-



Rycina 4. Sęk z zakorkiem, elementami infekcji oraz zdrową tkanką drzewną w okolicach sęka. Sęk po gałęzi odciętej ukośnie.

Figure 4. Knot with bark pocket and signs of infection, but with sound wood tissue around knot. Branch cut off at an angle.

krzesanych z pozostawieniem tylców, jak i w drewnie dębów podkrzesanych bez pozostawiania tylców. Autorka prowadziła badania podkrzesywania na drzewach w wieku 27 lat, co można przyjąć za zbyt późny wiek (Giefing 1999).

Aßmann (1961) zauważył istotny wpływ wieku podkrzesywanych drzew oraz jakości podkrzesywania na jakość i zdrowotność drewna. Stwierdził, iż niebezpieczeństwo infekcji wzrasta w drzewostanach średnich i starszych klas wieku, a także gdy rany są duże i zanieczyszczone. Z tego względu zaleca się wykonanie zabiegu podkrzesania przed osiągnięciem wieku kulminacji przyrostu drzew. Na tej podstawie można wnioskować, iż najkorzystniejszym momentem jest podkrzesywanie przed osiągnięciem przez drzewo 20 lat, czyli przed wyrośnięciem zbyt grubych gałęzi (Giefing 1999).

Podstawowym celem podkrzesywania jest przede wszystkim zwiększenie udziału drewna bezszęcnego, bez zwiększania ryzyka infekcji i występowania w jej następstwie przebarwień o charakterze patogenicznym czy zgnilizn drewna. W niniejszej pracy wykazano, iż zabieg podkrzesywania wpływa na zwiększenie udziału strefy bezszęcnej. Wpływ ten był istotny statystycznie.

W grupie sęków po podkrzesaniu brak strefy bezszęcnej wystąpił u ok. 1% przypadków. Należy dodać, iż najprawdopodobniej wynikało to z błędów w technice podkrzesywania, gdzie mimo założenia o usuwaniu gałęzi równo z poboczną pnia pozostawiono niewielkie tylce, które do czasu pozyskania próbek nie zarosły.

Pozytywnym efektem podkrzesywania jest skrócenie czasu zarastania sęków (Giefing 1999). Z przeprowadzonych badań wynika, iż średni czas zarastania sęków po podkrzesaniu wyniósł niecałe 5 lat i był ponad dwukrotnie mniejszy niż dla sęków u drzew niepodkrzesanych. Zarastanie sęka podkrzesanego trwało najkrócej jeden rok, łącznie 25% sęków zarosło w ciągu trzech lat, a 75% sęków z całej próby zarosło w czasie sześciu lat lub krótszym. Dla porównania, wśród sęków u drzew niepodkrzesanych w czasie do 8 lat zarosło tylko 25% wszystkich sęków.

Mając na uwadze powyższe charakterystyki, należy zaznaczyć, iż podkrzesywanie dębu było udane. Część sęków wykazywała oznaki zepsucia, przy czym tkanka przysęcna była zawsze zdrowa. Dzięki zabiegowi uzyskano większą strefę sęka zdrowego i krótszy czas zarastania sęków.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania zdrowotności sęków dębowych po podkrzesywaniu wskazują, iż w procesie ich zarastania może pojawiać się niewielka, zajmująca średnio ok. 1 cm, zgnilizna stanowiąca strefę sęka zepsutego. Zarastanie sęków o średniej średnicy nieco ponad 1 cm zajmowało średnio ok. 5 lat (przy czym najgrubsze sęki miały 8 cm). W tym czasie otwarty sęk był narażony na rozwój niewielkiej infekcji. W badaniach wykazano również występowanie sęków bez zgnilizny, przy czym stanowiły one ok. 5% całkowitej liczby. Na drzewach pozostawionych do naturalnego oczyszczania się drzew zara-

stanie sęków trwało znacznie dłużej, tj. ok. 11 lat w strefie badanej wysokości pnia, tj. do 3,25 m. W badanej populacji sęki te miały znacznie większą strefę sęka zepsutego.

W świetle przeprowadzonych badań podkrzesywanie dębu należy uznać za bezpieczne z punktu widzenia zdrowotności pnia i powstałych sęków. Podkrzesywanie przyspieszyło zarastanie sęków i zmniejszyło strefę sęka zepsutego.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródło finansowania badań i podziękowania

Badania były częściowo sfinansowane przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, Nadleśnictwo Lidzbark.

Autorzy składają podziękowania Recenzentom za wnikliwe uwagi, dzięki którym powstała ostateczna wersja niniejszego artykułu.

Literatura

- Aboney E.A. 1981. Zur Wertästung von Nadelhölzern mit Handgeräten. Universität Göttingen, Göttingen.
- Aßmann E. 1961. Waldertragskunde. Universität München, München.
- Carlovitz H.A. 1713. Sylvicultura economica oder Hauswirtschaftliche Nachricht und naturgemäße Anleitung zur wilden Baumzucht. Leipzig.
- Dudik K. 1930. Odpilowywanie gałęzi zielonych. *Aktualne Wiadomości Leśne* 24: 110.
- Duhamel Du Monceau H.L. 1764. De l'exploitation des bois. Paris.
- Evelyn J. 1670. Sylva or a discourse of forest trees and the propagation of timber in His Majesties Dominions. London.
- Giefing D.F. 1987. Podkrzesywanie sosen i świerków w świetle dotychczasowych badań. *Sylvan* 131(10): 21–29.
- Giefing D.F. 1993. Podkrzesywanie drzew. Wydawnictwo AR, Poznań.
- Giefing D.F. 1994. Czy warto podkrzesywać drzewa w lesie? *Las Polski* 7: 1–7.
- Giefing D.F. 1999. Podkrzesywanie drzew w lesie. Wydawnictwo AR Poznań. ISBN 83-7160-165-4.
- Giefing D.F., Pikulik J., Szczawiński D. 2011. Reakcje biologiczne dębów na podkrzesywanie. *Sylvan* 155(1): 3–9.
- Guillebaud W.H. 1933. Pruning in plantations. Reprint: *Quarterly Journal of Forestry* 27, 29 s.
- Henman D.W. 1963. Pruning conifers for the production of quality timber. Forestry Commission Bulletin 35, Her Majesty's Stationery Office, Edinburgh, 55 s.
- Heyer E. 1872. Aphoristische Mitteilungen aus dem Holzhauereibetrieb I. über Aufästen der Bäume. *Forstliche Blätter* 1: 261–264.
- Hilf H.H. 1933. Die Erzeugung von Wertholz durch Aufästung des Nadelholzes. Deutscher Forstverein.
- Koehler R. 1934. Trockenästung von Fichtenbeständen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 110(1): 7–9.
- Korpel' Š. 1977. Zvyšovanie hodnoty produkcie porastov borovice sosny vyvetvovanim. *Lesnictvi* 23: 591–608.
- Kramer H. 1962. Kronenaufbau und Kronenentwicklung gleichalter Fichtenbestände. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 133(11): 249–256.

- Krigul T. 1961. Manni-ja Kuusepuistute laasimine. Tartu.
- Laar Van A. 1966. A comparison of tools for pruning *Pinus pinaster*. *South African Forestry Journal* 57(1): 13–16. DOI 10.1080/00382167.1966.9629153.
- Lakari O.J. 1920. Untersuchungen über die Ästung der Fichte. *Communicationes Ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae* 2: 1–5.
- Leibundgut H. 1966. Die Waldpflege. Paul Haupt Verlag, Bern.
- Lelbach H. 1859. Über den Einfluß des Ästens der Nadelhölzer auf ihren Gebrauchswert. *Monatsschrift Forst- und Jagdwissenschaft* 21: 250–262.
- Lorey T. 1907. Handbuch der Forstwissenschaft. Bd 1. Tübingen.
- Lücke H. 1968. Grünästung der Kiefer. *Forst- und Holzwirtschaft* 20: 421–423.
- May R.J. 1889. Geschichte der Aufästungstechnik und Aufästungslehre. *Forstwissenschaftliches Zentralblatt* 16, 96.
- May R.J. 1890. Geschichte der Aufästungstechnik und Aufästungslehre. *Forstwissenschaftliches Zentralblatt* 84.
- May R.J. 1891. Geschichte der Aufästungstechnik und Aufästungslehre. *Forstwissenschaftliches Zentralblatt* 161.
- Mayer-Wegelin H. 1936. Ästung. Hannover.
- Mayer-Wegelin H. 1952. Das Aufästen der Waldbäume. Schaper, Hannover.
- Paschalis-Jakubowicz P., Kulik P., Lachowicz H. 2015. Kształtowanie cen oraz metody sprzedaży surowca cennego w Polsce. *Sylvan* 159(4): 267–277.
- Paterson A. 1938. The Occlusion of Pruning Wounds in Norway Spruce (*Picea excelsa*). *Annals of Botany* 2(3): 681–698. DOI 10.1093/oxfordjournals.aob.a084026.
- Pazdrowski W. 1984. Wpływ podkrzesywania sosny zwyczajnej na zmiany kurczenia się jej drewna. *Sylvan* 128(5): 33–39.
- Pazdrowski W. 1985. Podkrzesywanie sosny zwyczajnej – jedna z dróg zmniejszania wadliwości uszczeniowania. *Sylvan* 129(7): 35–43.
- Pazdrowski W. 1992. Zmiany jakości i wartości drewna w drzewostanach sosnowych przy stosowaniu podkrzesywania drzew. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Rozprawy Naukowe* 224: 1–63.
- Pazdrowski W., Cybulko T. 1988. Wpływ podkrzesywania drzew na kształtowanie się twardości drewna strefy przyściennej u sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.). *Sylvan* 132(6): 25–34.
- Pikulik J. 2007. Reakcje biologiczne na podkrzesywanie dębu w Nadleśnictwie Lidzbark. Maszynopis, Katedra Użytkowania Lasu UP, Poznań.
- Romell L-G. 1940. Kvistningsstudier d tall och gran. *Meddelanden Från Statens Skogsförsöksanstalt* 32(5): 143–194.
- StatSoft Inc. 2018. Statistica 13.3. <https://www.statsoft.pl/?s=statistica+13.3> [3.01.2019].
- Szczawiński D., Zawiaślak M. 1997. Jakość drewna podkrzesanych sosen, modrzewi, świerków, dębów i brzoź. Maszynopis, Katedra Użytkowania Lasu AR, Poznań.
- Szewczyk G., Guz M. 2012. Dynamika zmian szerokości przyrostów rocznych jako miara żywotności drzew w zadrzewieniach parkowych i zieleni miejskiej. *Forestry Letters* 103: 47–56.
- Szymański S. 1991. Pielęgnowanie drzewostanów starszych (trzebieże). Poradnik Leśniczego. Świat, Warszawa.
- Žumer M. 1966. Ästungsversuche an Föhre, Fichte, Birke, Aspe, Esche und Eiche. *Meddelelser fra det Norske Skogforsöksvesen*. 20: 399–581.

Wkład autorów

D.F.G., D.S., P.S.M. – koncepcja badań i struktura artykułu naukowego; P.S.M. – analiza statystyczna; D.F.G., D.S., P.S.M., K.N., M.B – przegląd literatury; P.S.M., D.S., K.N., M.B. – napisanie pracy, weryfikacja wyników i korekta.

Knot soundness and occlusion time after the artificial pruning of oak

Piotr S. Mederski^{1*}, Dariusz Szczawiński^{1,2}, Dieter F. Gieffing¹, Kwiryn Naparty^{1,3}, Mariusz Brunka^{1,4}

¹Poznań University of Life Sciences, Faculty of Forestry, Department of Forest Utilisation, ul. Wojska Polskiego 71A, 60-625 Poznań, Poland; ²Lidzbark Forest District, Lidzbark-Nadleśnictwo 1, 13–230 Lidzbark, Poland; ³Pniewy Forest District, ul. Wolności 4, 62–045 Pniewy, Poland; ⁴Rytel Forest District, Rytel-Dworzec 4, 89–642 Rytel, Poland

*Tel. +48 61 8487761, email: piotr.mederski@up.poznan.pl

Abstract. Artificial pruning of trees can improve wood quality as well as enhance timber value. Currently, pruning is quite common when veneer timber or plywood is in demand. Cutting off branches, however, creates open wounds in the form of knots, which are exposed to infections. While the pruning of coniferous trees is well-studied, less research has been conducted on broadleaved trees. The objective of this study was to determine 1) if the artificial pruning of oak can lead to decaying knots, 2) if so, how big is the decaying zone around the unsound knot, and 3) how much time is needed for full knot occlusion after artificial pruning. 13- and 16-year-old oak trees located in northern Poland (Lidzbark Forest District) were chosen for this study. Ten years after pruning, sample trees were selected in order to determine if the knots were sound and how many years it had taken for each knot to occlude. The results were compared with those of knots on trees caused by natural pruning. In total, 419 and 104 knots resulting from artificial and natural pruning, respectively, were analysed. It was found that 95% of the artificially pruned knots had very little decay, showing an average of 1.13 cm of unsound knot zone. On the naturally pruned control trees, 98% of the knots were unsound with nearly double the amount of knot decay zone. Additionally, the artificially pruned knots needed less than five years to overgrow, while it took over eleven years for the naturally pruned knots to occlude. Therefore, pruning oak trees is recommended, even though a very small decay zone may appear on the knots, because it takes half the time for these artificial knots to occlude in comparison to unpruned trees.

Keywords: sound knot, decayed knot, natural pruning, broadleaved trees

1. Introduction

The procedure of pruning was already being used at the turn of the 16th and 17th centuries in Japan, and the first European country in which this topic was mentioned was the Kingdom of England (Evelyn 1670). Since then, many changing studies, instructions and guidelines have been published, which often present extremely different views (Gieffing 1999). In certain periods, there was great interest in this procedure or, on the contrary, it was considered fairly ineffective (Leibundgut 1966, Pazdrowski 1992).

The first non-scientific German publication on pruning is from 1713 (Carlovitz 1713), and the first scientific publication on this topic was published in 1764 (Duhamel du Monceau 1764). It presented the effects of pruning live branches

of trees on their growth. German foresters published their first results of studies on pruning in the form of scientific studies only about one hundred years later. These works showed the growth effects of pruning. For example, Heyer (1872) found double the growth of spruce at the beginning of the growing season after performing the treatment.

The suggestions of many practitioners regarding the allegedly unfavorable impact of pruning trees led Lorey (1907), Lakari (1920), Hilf (1933) and Koehler (1934) to undertake research to verify the expressed opinions. The research of these authors showed that discoloration may occur, or even wood decay, from the knots left after removing live branches. These results caused the pruning of live branches of trees to be discontinued in many countries, including Poland. However, subsequent years of the work of Mayer-We-

Received: 14.02.2019, reviewed: 21.02.2019, accepted: 13.03.2019.

gelin (1936) shed new light on the issue of the impact of removing live branches on the health status of trees. After re-testing spruce, Paterson (1938) did not find the above-mentioned disadvantages resulting from pruning live branches. Similarly, Romell (1940) believed that there was no need to ban the removal of live parts of tree crowns. In later periods, similar statements were expressed by Krigul (1961) and Lucke (1968), who believed that the pruning wounds of live branches are flooded with resin, which inhibits fungal infection, and therefore – the development of decay. Other authors also confirmed the observation that infections did not occur or appeared sporadically after branches were removed (Kramer 1962, Henman 1963, Pazdrowski 1985).

Aßman (1961) noted the significant impact of the age of the tree being pruned and the quality of the pruning. He stated that the danger of infection increases in medium and older age classes, and also when the wounds are large and dirty. The threat of infection was determined to be particularly high when thick, live branches were removed, in which one could expect that heartwood had already developed (Giefing 1987). For this reason, it is recommended that pruning treatments should be performed before the age of the culmination of tree growth (Giefing 1999).

The most beneficial seems to be pruning before the tree reaches 20 years of age. Dudik (1930, after Giefing 1999), took a similar position in 1930, writing that the procedure should be performed in younger stands, aged no more than 25–30 years. Due to the cost-effectiveness of the treatment and the possibility of decreased growth, and thus the prolongation of occlusion time, pruning should be done to tree stands in the best habitats (Žumer 1966, Giefing 1987). It is not economically justified to prune all trees in the stand. The best trees should be used for the treatment, the so-called “elite” of the stand (Szymański 1991), and thus trees from the I and II Kraft classes. Pruning these trees, characterized by inherently high growth dynamics, will allow, on the one hand, a rapid increase in the volume of the knotless zone, on the other hand, the shortest possible time of achieving knot occlusion in the given tree stand.

In order to achieve good tree health after the treatment, the technical aspects are important, that is, the type of tools used and the choice of pruning methods. Although pruning is considered one of the oldest breeding treatments used in forestry, it was only about one hundred years ago that the first publications appeared about the impact of the tools and methods used on the quality of the treatment (May 1889, 1890, 1891, Guillebaud 1933, Laar 1966).

Following the research, the approach of practitioners to this procedure changed. Initially, various tools were used, which resulted in damage to the tree (Giefing 1993). Then, starting with Germany, impact tools were eliminated: axes, cleavers and barking irons, with hand saws being recom-

mended (Lelbach 1859). Studies on the use of shears and secateurs showed that micro-cracks were formed during cutting, which in combination with small snags, promoted infection (Mayer-Wegelin 1952, Aboney 1981). In the end, hand saws were considered to be the best tools for pruning, making an even and smooth cut surface, enabling branches to be cut evenly with the side of the trunk, and not harming the tree itself. Such a view was already published in 1930 by, among others, Dudik (after Giefing 1999).

The main advantage of pruning is to obtain a wider zone of knotless wood, characterized by significant homogeneity, and also to improve such features as density, compressive strength along the fibers as well as shrinkage (Pazdrowski 1984) and hardness (Pazdrowski, Cybulko 1988).

Obtaining a larger zone of knotless wood is one of the factors that justifies pruning. However, this treatment exposes wood tissue to being impacted by external factors. While coniferous species are well known in terms of their response to pruning, which is probably caused by their percentage share in the composition of stands and their great economic importance, there are significantly fewer studies on deciduous species. The increasing share of these species associated with the reconstruction of tree stands indicates the need to analyze the deciduous species.

One economically important species is oak, which is the subject of the study presented in this paper. High quality and knotless oak wood achieves high prices. It is usually sold in auctions or submissions and achieves particularly high prices due to its lack of knots and other features enabling it to be used for veneer (Paschalis-Jakubowicz et al. 2015). Bearing in mind the high requirements expected of veneer oak wood, the aim of this study is to determine the health of oak knots and the rate of their time occlusion after pruning.

2. Materials and methods

The research material was taken from the Lidzbark Forest District of the Regional Directorate of State Forests in Olsztyn. A total of five sample plots were designated for pruning, one each in subcompartment 63d, 72b, 82a, and two in subcompartment 82d (Table 1), all in a mixed forest on site with average moisture.

In the spring of 1995, oaks were pruned on plots of 50-are area. The treatment was performed by the selection method (classical) using handsaws for pruning. The trees from the highest biosocial groups, with a well-developed crown: towering and prevailing, that is, from Kraft class I and II (Giefing 1999), were selected for pruning. Such trees have high growth increments and a low risk of a reduction in their biosocial position in the future, and thus are characterized by a very long life. It was assumed that trees with a longer life-

Table 1. Characteristics of sample plots and selected oak trees

Feature	Pruned				Unpruned	
	63d	72b	82a	82d	82d	165c
Subcompartment	63d	72b	82a	82d	82d	165c
Share of oak in species composition [%]	20	10	10	20	20	30
Site index	2	2	2	2	2	2
Age of trees at the age of pruning [years]	13	16	16	16	16	26
Age of felled trees [years]	23	26	26	26	26	36
Number of trees [n]	3	3	3	3	3	3

span will grow to a greater thickness more intensely (Szewczyk, Guz 2012), resulting in the knot becoming occluded in a shorter time and decreasing the risk of infection.

As a rule, branches were removed evenly from the side of the trunk so as not to leave snags. Each plot constituted a separate study area. The age of trees at the time of pruning in one sample plot (63d) was 13 years, in the remaining ones – 16 years.

In 2005, at each plot, the diameters (DBH) were measured of all pruned trees, and several of them had their heights measured at each two-centimeter degree of thickness. Using the Ulrich II method, the dimensions of three model trees in each plot were calculated. Then, three sample trees with dimensions closest to the model trees were selected in the plots, for a total of 15 trees. The trees were cut with a chainsaw and two ca. 2 m logs from the pruned areas were obtained from each. The pruned logs were then cut into 30-cm long sections with the occluded knots, which were taken as samples for further study. The obtained logs and short sections were described in such a way as to be able to determine the position of the knot with respect to the base of the stem.

With the aid of an ax (or hummer) and wedges, trunk sections were split in such a way as to reveal the course of the knot formation in a radial plane. The area around the occurrence of knots was determined on the basis of a drawing of the bark on the occluded knot.

The features of the exposed knots were measured with an accuracy of 1 mm: a) maximum knot width, b) width of the sound knot zone, c) width of the unsound knot zone, and d) width of the wood zone without the knot, in which the number of years required for the full occlusion of the knot was established (Fig. 1).

In December 2010, three unpruned (naturally pruned) trees from the control sample in subcompartment 165c (of the same site conditions) were tested (Table 1). The selection of trees was made according to the same methods as in the case of the artificially pruned trees, logs were cut and sections prepared for analysis of the knot occlusion process

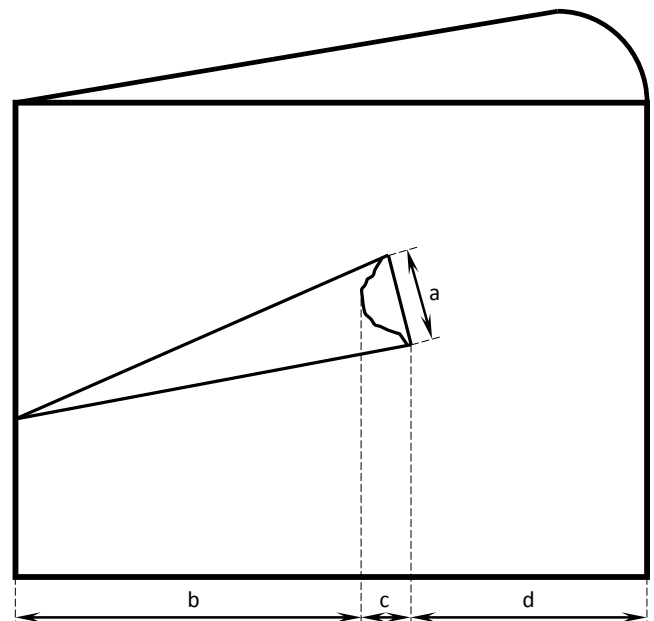


Figure 1. Parameters of knot and surrounding areas: a) knot thickness, b) width of sound knot zone, c) width of unsound knot zone, d) width of wood zone without knot

in the unpruned trees, as was done with the artificially pruned trees. The age of the trees at the time of felling was 36 years. Additionally, a tree stand 10 years older than the pruned trees was selected for the comparison. It was assumed that the process of knot occlusion in trees of a stand about 10 years older will occur at heights similar to those of the pruned trees, i.e. at approx. 4 m.

The parameters of the knots and adjacent zones from pruned trees were compared with the corresponding elements of the knots from the unpruned trees. For this purpose, position statistics were calculated and the data of both groups were compared (pruned and unpruned) using the U Mann-Whitney test at $\alpha=0.05$. The non-parametric test was chosen due to the lack of normal distributions (verified with the Shapi-

ro-Wilk test) and the diversity of the number of data (knots) from the pruned and unpruned trees. The Spearman test was used in the case of correlation. The tests were performed using the Statistica 13.3 program, positional statistics were calculated in Excel.

3. Results

In total 419 knots from artificially pruned trees and 104 knots from the unpruned trees were obtained for further analysis (Table 2). The average diameters of the stem, where the knots were located in the pruned trees, were slightly higher than in the unpruned ones and statistically differed (p -value = 0.0004; Table.2). Knots were located at a similar, average height (143 and 140 cm, respectively, in the artificially pruned and unpruned trees) in the analyzed stems, the highest knot of the unpruned trees was located at a height of 325 cm, 60 cm lower than the highest knot of the pruned trees.

Average knot thickness on the unpruned trees was 22% greater than on the artificially pruned trees, but this difference was not statistically significant (Table 2). The sound knot zone was greater by 13% in pruned trees and this difference was statistically significant (p -value = 0.0449).

The wood tissue of the annual rings adjacent to the knots in the artificially pruned trees was also sound, no case of any

decay or discoloration of a pathogenic nature was found in the wood surrounding the knots (Fig. 2).

Exceptionally, a bark pocket was created (Fig. 3 and 4), which occurred in two knots of the examined 419, constituting less than 0.5% of the studied cases.

The unsound knot zone was much smaller in artificially pruned trees, 37% lower than in unpruned trees (Table 2); this difference was statistically significant (p -value = 0.0000). Also, the time of knot occlusion was shorter for the pruned trees. Unpruned trees needed more than twice as much time (over 11 years, Table 2) for their knots to occlude in the examined stem zone of up to 3.25 m (cases of knots occluding for over 10 years means that some of the branches were removed as a result of factors other than planned pruning). The differences observed for the duration of knot occlusion were very distinct and statistically significant (p -value = 0.0000).

A detailed analysis of the data also allowed that about 5% of the knots had no signs of decay 10 years after pruning. The unpruned trees had only two knots with no observable signs of decay, constituting approx. 2% of the number of knots studied.

An additional analysis using Spearman's correlation showed a relationship between the thickness of an unsound knot and the width of the unsound knot zone $r_s=0.36$, with a statistically significant relationship of $p<0.05$.

Table 2. Characteristics of stems and knots of pruned and unpruned oak trees

Feature	Tree	Mean	Minimum	Maximum	SD	N
Stem diameter at height of knot position near pith [cm]	Pruned	13.70 ^a	7.00	28.00	3.68	419
	Unpruned	11.23 ^b	6.00	20.00	4.13	104
Height of knot position near pith to bottom of stem [cm]	Pruned	143.25 ^a	5.00	385.00	86.18	419
	Unpruned	140.75 ^a	8.00	325.00	90.05	104
Maximal knot thickness, perpendicular to knot axis [cm]	Pruned	1.11 ^a	0.10	8.00	1.10	419
	Unpruned	1.35 ^a	0.20	12.00	1.45	104
Zone width of sound knot [cm]	Pruned	2.85 ^a	0.00	9.50	1.53	419
	Unpruned	2.53 ^b	0.00	8.20	1.45	104
Zone width of unsound knot [cm]	Pruned	1.13 ^a	0.00	8.00	1.24	419
	Unpruned	2.07 ^b	0.00	6.10	1.06	104
Occlusion time [years]	Pruned	4.99 ^a	1.00	19.00	2.66	419
	Unpruned	11.21 ^b	0.00	22.00	4.62	104

SD – standard deviation; different letters next to mean values show statistically significant differences, $\alpha=0,05$

4. Discussion

Knots are a natural element of wood, although their occurrence can be limited in the process of pruning. Over a period of more than four centuries of pruning, views about this procedure have changed (Giefing 1994). In some periods, pruning was very popular, but there were also times when it was considered ineffective and its use was discouraged (Leibundgut 1966, Korpel 1977). Today's knowledge on the pruning of conifer species, especially pine, is very well supported by broad scientific research and is well-established. Bearing in mind this information, it must be stated that trees can be pruned, removing both dead and live branches, without leaving snags, with even and smooth cuts along the side of the stem. The treatment should be performed before the heartwood develops in the branches to reduce the risk of infection inside the stem (Giefing 1999). It is advisable to perform this procedure on reach forest sites, of the site index 1 or 2, using selection methods. Pruning deciduous species is still debatable, and due to their importance and the related low availability of study results, less well-known.

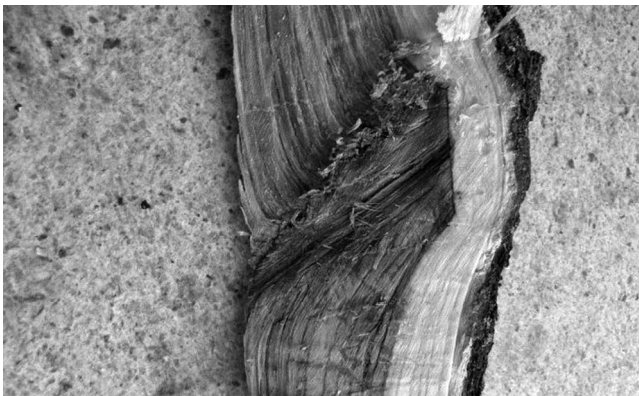


Figure 2. Example of knot after artificial pruning of branch along with stem surface. Sound knot fully occluded with sound wood tissue around knot.



Figure 3. Sound knot after artificial pruning, fully occluded with small bark pocket. Sound wood tissue around knot.

The obtained results allow to conclude that oak tolerates the pruning of both dead and live branches well, reacting by increasing the share of the knotless zone and reducing the size of the wood zone adjacent to the knots.

Infections and decay occurred, but were very small. The calculated correlation indicates that a larger area of decay may develop on larger knots. This indicates the importance of pruning at the earliest possible stage, when branch diameters are relatively small.

The presented study confirms the rare occurrence of bark pockets. Giefing et al. (2011) also found rather exceptional occurrences of this defect with knots, i.e. one case in 59.

Previous studies of oak pruning show that there were no cases of decay or discoloration in the wood surrounding the knots (Szczawiński, Zawiślak 1997). It should be noted that Pikulik (2007) found discolorations in the area adjacent to the knots of both the wood of pruned oaks that left snags as well as in the wood of pruned oaks without leaving snags. The author studied the pruning of trees which were 27 years old, which can be considered too late of an age for this treatment (Giefing 1999).

Aßman (1961) noted the significant effect of the age of trees being pruned and the quality of the pruning on the quality and health of the wood. He stated that the danger of infection increases in medium and older age classes, and also when the wounds are large and contaminated. For this reason, pruning is recommended before trees reach the age of the culmination of their growth. On this basis, it can be concluded that the most favorable moment to prune is before the tree reaches 20 years of age, that is, before the branches have become too thick (Giefing 1999).

The main purpose of pruning, however, is primarily to increase the share of knotless wood, without increasing the



Figure 4. Knot with bark pocket and signs of infection, but with sound wood tissue around knot. Branch cut off at an angle.

risk of infection and subsequent discolorations of a pathogenic nature or wood decay. In this study it was shown that pruning results in an increase in the share of the knotless zone and this effect was statistically significant.

In the group of knots after pruning, the lack of a knotless zone occurred in about 1% of cases. It should be added that this was most probably due to errors in the pruning technique, where, despite the assumption of removing branches flush with the stem side, small snags were left, which had not occluded before the study samples were collected.

A positive effect of pruning is shortening the time of knot occlusion (Giefing 1999). The research showed that the average time of knot occlusion after pruning was less than 5 years, more than two-times smaller than for the knots of unpruned trees. The shortest duration of knot occlusion of the pruned branches was one year, a total of 25% of the knots occluded in three years, and 75% of the knots from the entire sample occluded in six years or less. By comparison, in 8 years, only 25% of all the knots in the unpruned trees had occluded.

Bearing in mind the above characteristics, it should be noted that pruning the oaks was successful. Some of the knots showed signs of decay, but the tissue next to the knot was always healthy. The treatment allowed us to obtain a larger sound knot zone and a shorter time of knot occlusion.

5. Conclusions

The carried out study of the health of oak knots after pruning indicated that in the process of their occlusion, a small, on average about 1 cm of decay occurs in knots to form an unsound zone. The occlusion of knots with an average diameter of a little over 1 cm took about five years (with the thickest knots having a diameter of 8 cm). At that time, the open knot was exposed to the development of a small infection. The study also showed the occurrence of knots without decay, accounting for about 5% of the total number. Unpruned trees were found to have knots that took significantly longer to occlude, i.e. about 11 years in the examined stem height zone of up to 3.25 m. In the studied population, these knots had a much larger unsound knot zone.

In light of the presented research, pruning oaks should be considered safe from the point of view of the health of the stem and the resulting knots. Pruning accelerated knot occlusion and reduced the unsound knot zone.

Conflict of interest

The authors declare the lack of potential conflicts of interest.

Acknowledgments and source of funding

The research was partially financed by the Lidzbark Forest District, the State Forests in Poland.

The authors thank the Reviewers for their insightful comments, allowing the final version of this article to be prepared in the best possible form.

References

- Aboney E.A. 1981. Zur Wertästung von Nadelhölzern mit Handgeräten. Universität Göttingen, Göttingen.
- Aßmann E. 1961. Waldertragskunde. Universität München, München.
- Carlovitz H.A. 1713. Sylvicultura economica oder Hauswirtschaftliche Nachricht und naturgemäße Anleitung zur wilden Baumzucht. Leipzig.
- Dudik K. 1930. Odpilowywanie gałęzi zielonych. *Aktualne Wiadomości Leśne* 24: 110.
- Duhamel Du Monceau H.L. 1764. De l'exploitation des bois. Paris.
- Evelyn J. 1670. Sylva or a discourse of forest trees and the propagation of timber in His Majesties Dominions. London.
- Giefing D.F. 1987. Podkrzesywanie sosen i świerków w świetle dotychczasowych badań. *Sylwan* 131(10): 21–29.
- Giefing D.F. 1993. Podkrzesywanie drzew. Wydawnictwo AR, Poznań.
- Giefing D.F. 1994. Czy warto podkrzesywać drzewa w lesie? *Las Polski* 7: 1–7.
- Giefing D.F. 1999. Podkrzesywanie drzew w lesie. Wydawnictwo AR Poznań. ISBN 83-7160-165-4.
- Giefing D.F., Pikulik J., Szczawiński D. 2011. Reakcje biologiczne dębów na podkrzesywanie. *Sylwan* 155(1): 3–9.
- Guillebaud W.H. 1933. Pruning in plantations. Reprint: *Quarterly Journal of Forestry* 27, 29 s.
- Henman D.W. 1963. Pruning conifers for the production of quality timber. Forestry Commission Bulletin 35, Her Majesty's Stationery Office, Edinburgh, 55 s.
- Heyer E. 1872. Aphoristische Mitteilungen aus dem Holzhauereibetrieb I. über Aufästen der Bäume. *Forstliche Blätter* 1: 261–264.
- Hilf H.H. 1933. Die Erzeugung von Wertholz durch Aufästung des Nadelholzes. Deutscher Forstverein.
- Koehler R. 1934. Trockenästung von Fichtenbeständen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 110(1): 7–9.
- Korpel' Š. 1977. Zvyšovanie hodnoty produkcie porastov borovice sosny vyvetvovanim. *Lesnictvi* 23: 591–608.
- Kramer H. 1962. Kronenaufbau und Kronenentwicklung gleichaltriger Fichtenbestände. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 133(11): 249–256.
- Krigul T. 1961. Manni-ja Kuusepuistute laasimine. Tartu.
- Laar Van A. 1966. A comparison of tools for pruning *Pinus pinaster*. *South African Forestry Journal* 57(1): 13–16. DOI 10.1080/00382167.1966.9629153.

- Lakari O.J. 1920. Untersuchungen über die Ästung der Fichte. *Communicationes Ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae* 2: 1–5.
- Leibundgut H. 1966. Die Waldpflege. Paul Haupt Verlag, Bern.
- Lelbach H. 1859. Über den Einfluß des Ästens der Nadelhölzer auf ihren Gebrauchswert. *Monatsschrift Forst- und Jagdwissenschaft* 21: 250–262.
- Lorey T. 1907. Handbuch der Forstwissenschaft. Bd 1. Tübingen.
- Lücke H. 1968. Grünästung der Kiefer. *Forst- und Holzwirtschaft* 20: 421–423.
- May R.J. 1889. Geschichte der Aufästungstechnik und Aufästungslehre. *Forstwissenschaftliches Zentralblatt* 96.
- May R.J. 1890. Geschichte der Aufästungstechnik und Aufästungslehre. *Forstwissenschaftliches Zentralblatt* 84.
- May R.J. 1891. Geschichte der Aufästungstechnik und Aufästungslehre. *Forstwissenschaftliches Zentralblatt* 161.
- Mayer-Wegelin H. 1936. Ästung. Hannover.
- Mayer-Wegelin H. 1952. Das Aufästen der Waldbäume. Schaper, Hannover.
- Paschalis-Jakubowicz P., Kulik P., Lachowicz H. 2015. Kształtowanie cen oraz metody sprzedaży surowca cennego w Polsce. *Sylvan* 159(4): 267–277.
- Paterson A. 1938. The Occlusion of Pruning Wounds in Norway Spruce (*Picea excelsa*). *Annals of Botany* 2(3): 681–698. DOI 10.1093/oxfordjournals.aob.a084026.
- Pazdrowski W. 1984. Wpływ podkrzesywania sosny zwyczajnej na zmiany kurczenia się jej drewna. *Sylvan* 128(5): 33–39.
- Pazdrowski W. 1985. Podkrzesywanie sosny zwyczajnej – jedna z dróg zmniejszania wadliwości uszczeniowania. *Sylvan* 129(7): 35–43.
- Pazdrowski W. 1992. Zmiany jakości i wartości drewna w drzewostanach sosnowych przy stosowaniu podkrzesywania drzew. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Rozprawy Naukowe* 224: 1–63.
- Pazdrowski W., Cybulko T. 1988. Wpływ podkrzesywania drzew na kształtowanie się twardości drewna strefy przysącznej u sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.). *Sylvan* 132(6): 25–34.
- Pikulik J. 2007. Reakcje biologiczne na podkrzesywanie dębu w Nadleśnictwie Lidzbark. Maszynopis, Katedra Użytkowania Lasu UP, Poznań.
- Romell L-G. 1940. Kvistningsstudier d tall och gran. *Meddelanden Från Statens Skogsforsöksanstalt* 32(5): 143–194.
- Szczawiński D., Zawiślak M. 1997. Jakość drewna podkrzesanych sosen, modrzewi, świerków, dębów i brzoź. Maszynopis, Katedra Użytkowania Lasu AR, Poznań.
- Szewczyk G., Guz M. 2012. Dynamika zmian szerokości przyrostów rocznych jako miara żywotności drzew w zadrzewieniach parkowych i zieleni miejskiej. *Forestry Letters* 103: 47–56.
- Szymański S. 1991. Pielęgnowanie drzewostanów starszych (trzebieże). Poradnik Leśniczego. Świat, Warszawa.
- Žumer M. 1966. Ästungsversuche an Föhre, Fichte, Birke, Aspe, Esche und Eiche. *Meddr. norske. Skogfors Ves.* 20: 399–581.

Authors' contributions

D.F.G., D.S., P.S.M. – research concept and structure of the article; P.S.M. – statistical analysis; D.F.G., D.S., P.S.M., K.N., M.B. – literature review; P.S.M., D.S., K.N., M.B. – manuscript writing, verification of the results and corrections.

