

Ocena zgnilizny wewnętrznej pni dębów metodą akustyczną w rezerwacie Las Natoliński

Radosław Czechyra, Michał Orzechowski

Abstrakt. Ocena zgnilizny wewnętrznej dębów wykonano w ramach badań nad stanem ekosystemów leśnych rezerwatu Las Natoliński. Badania przeprowadzono za pomocą młotka impulsowego, wykonując pomiary propagacji fali dźwiękowej w przekroju poprzecznym pnia. Stosując tę samą metodykę prac w 2012 i 2015 roku, pomiarom poddano 28 dębów o zróżnicowanej grubości, rosnących na losowo wybranych powierzchniach próbnych. Badania wykazały, że około 70% dębów zawiera zgniliznę wewnętrzną. Pierśnica drzew zdrowych, poza wyjątkami, nie przekraczała 50 cm. Drzewa grubsze niż 70 cm miały silnie rozwiniętą zgniliznę wewnętrzną części odziomkowej do 1-1,5 m wysokości. Powtórne pomiary nie wykazały istotnego rozwoju zgnilizny w ciągu 3 lat, co może wynikać z krótkiego interwału pomiarów oraz z ograniczeń zastosowanej metody.

Słowa kluczowe: zgnilizna wewnętrzna, dąb szypułkowy, młotek impulsowy

Abstract. Assessment of internal decay of oak trunks with the acoustic method in the Las Natoliński nature reserve. The assessment of internal oak decay was made in the framework of research on the state of the forest ecosystems of the Las Natoliński nature reserve. The tests were carried out using a impulse hammer, performing measurements of sound wave propagation in the cross-section of the trunk. Using the same methodology, 28 oaks of varying DBH thickness, growing on randomly selected test plots, were subjected to measurements in years 2012 and 2015. The studies have shown that about 70% of oaks had internal rot. DBH of healthy trees, with some exceptions, did not exceed 50 cm. Trees thicker than 75 cm had a strongly developed internal rot of the bottom part of trunks up to 1-1.5 m height. Repeated measurements did not show any significant growth of decay within 3 years, which may be caused by short interval between measurements and due to the limitations of the method used.

Key words: inside rot, pedunculate oak, impulse hammer, stress waves method

Wstęp

Monitoring stanu zdrowotnego drzew w obiektach chronionych dotyczy zwykle ich zewnętrznych cech widzialnych (Oszako 2006, Dmyterko 2006, Hartman i in. 2009, Orzechowski i in. 2016). Ubytek aparatu asymilacyjnego, przebarwienia i deformacje liści, objawy występowania chorób grzybowych (obecność owocników lub ryzomorf, nekrozy), efekty działania owadów (szkodników pierwotnych i wtórnych) są cechami stosunkowo łatwo ocenianymi, chociaż dyskusyjnymi z punktu widzenia przewidywania zmian stanu zdrowotnego

danego drzewa. Znacznie trudniejsze w ocenie są zmiany zachodzące w strukturze wewnętrznej pni, a które mają bezpośredni wpływ na zagrożenie stabilności mechanicznej drzewa. Ma to znaczenie dla bezpieczeństwa osób poruszających się szlakami turystycznymi lub komunikacyjnymi, w których sąsiedztwie rosną drzewa narażone na niespodziewane złamania. Zgnilizny wewnętrzne, powodowane przez grzyby, możliwe są do oceny metodami inwazyjnymi, z wykorzystaniem świdrów przyrostowych lub rezystografów. Nawiercanie pni drzew o szczególnych wartościach przyrodniczych lub kulturowych nie jest jednak obojętne dla chronionego obiektu i może budzić sprzeciw społeczny. Rozwój technik bezinwazyjnych w ocenie stanu wewnętrznej struktury pni wykorzystuje badanie przepływu fal. Znanie są zastosowania przepływu prądu wskazujące na zmniejszony opór elektryczny przewilgoconej zgnilizny (Larsson i in. 2004, Dzbeński i Wiktorski 2008). Częściej próbuje się wykorzystywać badania parametrów fali dźwiękowej, której przewodnictwo różni się w zależności od stanu rozkładu drewna pni. Urządzenia dostępne na rynku opierają się na stosunkowo prostym układzie dwóch sond (młotek impulsowy, Sylvatest duo) lub większej ich liczbie (tomografy soniczne) emitujących i odbierających falę dźwiękową oraz urządzenia analizującego parametry przepływu, po zadaniu odległości pomiędzy sondami. Dźwięk w twardym i zdrowym drewnie porusza się znacznie szybciej niż w zmienionym, rozłożonym i miękkim (Sandoz i in. 2000, Wang i in. 2004, Dzbeński i Wiktorski 2008, Chomicz-Zegar i in. 2016). Fala dźwiękowa obiega wówczas miejsce rozłożone, co zwiększa odległość i czas przebiegu. Zmniejszona prędkość propagacji fali dźwiękowej, porównana do wartości bazowych dla danego gatunku drzewa, jest indykatorem zasięgu zgnilizny wewnętrznej.

Celem badań było określenie występowania zgnilizny wewnętrznej pni dębów szypułkowych – głównego gatunku budującego górne piętro drzewostanów rezerwatu Las Natoliński w Warszawie. Celem badań w 2015 roku była próba określenia rozwoju zgnilizny wewnętrznej tych drzew w odniesieniu do wyników pomiarów z 2012 roku.

Obiekt badań

Rezerwat przyrody Las Natoliński jest obiektem leśnym i zabytkowym założeniem parkowym, położonym w mieście stołecznym Warszawa, dzielnicy Wilanów, przy granicy z Ursynowem. Został utworzony na podstawie zarządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 9 października 1991 roku (M.P. nr 38 poz. 27). Obszar rezerwatu (103,7 ha w tym 95,18 ha stanowi powierzchnia drzewostanów) zawiera się w nieco większym założeniu parkowo pałacowym wpisanym do rejestru zabytków. Rezerwat ten jest chroniony w ramach sieci Natura 2000, jako specjalny obszar siedliskowy (dyrektywa siedliskowa). Jego ekosystemy leśne wykształciły się na żyznych i wilgotnych siedliskach lasu świeżego oraz lasu wilgotnego. Porastają one głównie teren III tarasu pradoliny Wisły, częściowo wspinają się na dobrze zachowaną skarpę pradoliny i leżący nad nią taras. Rezerwat Las Natoliński jest częścią Systemu Przyrodniczego Warszawy. Leży w IV krainie przyrodniczo-leśnej Mazowiecko-Podlaskiej (Plan ochrony 2007).

Roślinność rezerwatu, szczególnie najstarsze pokolenie drzew, jest spontanicznego pochodzenia i w znacznym stopniu pochodzi z dawnego, prawdopodobnie naturalnego lasu, adoptowanego w postaci rozległych kęp do parku krajobrazowego w stylu angielskim. Tereny poza nimi, w założeniu parku trawiaste, po zaprzestaniu pielęgnacji powróciły do charakteru leśnego, reprezentując obecnie różne stadia sukcesji wtórnej lasu (Orzechowski 2007, Plan

ochrony 2007). Stare dęby i jesiony rezerwatu są świadkami zachodzących przemian i dominującym elementem krajobrazu leśnego rezerwatu. Ponieważ występują w znacznej liczbie i na dużej powierzchni, do prowadzenia niniejszych badań wybrano drzewa rosnące na wylosowanych stałych kołowych powierzchniach próbnych wykorzystywanych do monitoringu stanu ekosystemów leśnych tego obiektu.

Metodyka badań

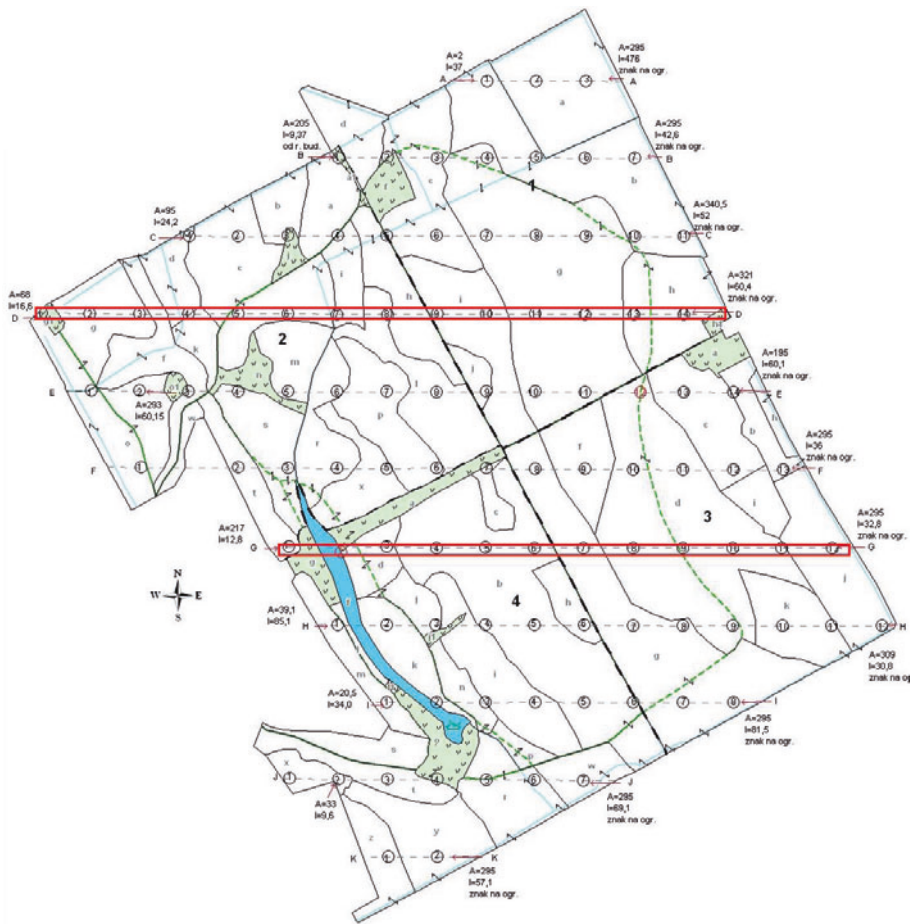
W 2012 roku, wybrano dwa rzędy powierzchni próbnych (ryc. 1), które reprezentowały pełen przekrój siedlisk i faz rozwojowych drzewostanów rezerwatu. Badaniu poddano wszystkie dęby rosnące na wybranych powierzchniach, czyli łącznie 28 okazów dębu szypułkowego *Quercus robur* L. Pomiar prędkości propagacji dźwięku, wskazujący na rozmiar zgnilizny wewnętrznej wykonywany był do środka powierzchni próbnej na wysokości 1-1,5 m mierząc od podstawy drzewa. Pomijano przy tym wysokość, na której mierzona jest pierśnica. Wybór wysokości wynikał z budowy drzew próbnych, chęci nienaruszania kory na wysokości pierśnicy oraz minimalizowania wpływu nabiegów korzeniowych i innych zniekształceń w najniższej części pnia na wynik pomiaru. W obu badaniach (2012 i 2015) dokonywano pomiaru tych samych drzew i w tych samych punktach na ich pniu (oznaczonych przy pierwszym pomiarze farbą). Pomiaru dokonywała ta sama osoba, co jest o tyle istotne, że siła uderzenia może wpływać na wynik pomiaru. Problem ten jest eliminowany przez doświadczenie operatora. Standaryzacja siły uderzenia jest wstępnie selekcyjonowana przez samo urządzenie (uderzenie młotkiem nie może być zbyt słabe ani zbyt silne). Operator młotka impulsowego może osiągać wyniki kolejnych pomiarów nieróżniące się o więcej niż kilka metrów na sekundę (1-3%). Dlatego można założyć, że wyniki osiągnięte w niniejszych badaniach nie są zależne od błędów pomiarowych i zależą jedynie od stanu wewnętrznego pni dębów.

Mierzone drzewa reprezentowały zróżnicowaną grubość na wysokości pierśnicy, nazywaną w dalej grubością drzew. Ze względu na status ochronny obiektu, nie wykonywano odwiertów określających wiek dębów. Wartość podawana w opisach taksacyjnych wynosiła od kilkudziesięciu do dwustu kilkudziesięciu lat. Ze względu na warunki wzrostu (podobną żyźność siedliska) założono, że grubość i wiek wykazują silną zależność.

Prędkość propagacji fali dźwiękowej jest zależna od występowania wewnątrz pni stref o zmienionych właściwościach fizycznych, najczęściej w postaci zgnilizny części przyrzeniowej. Dźwięk musi je obiegać znacznie wydłużając drogę i czas propagacji fali. W drewnie zdrowych dębów w analogicznych warunkach termicznych, przy pomocy młotka impulsowego można stwierdzić prędkość 1400-1600 m/s. Zgnilizna miękka przyrzeniowa o zasięgu 1/3 grubości drzewa zmniejsza tę prędkość do nawet 600 m/s (Sandoz i in. 2000, Wang i in. 2004, Dzbeński i Wiktorowski 2008). Opierając się na wynikach przywołanych badań i wcześniejszych doświadczeniach własnych, przyjęto miarodajność otrzymanych wartości dla oceny stanu zdrowotnego drzew. Na tej podstawie porównano średnie prędkości w drzewach uznanych za zdrowe (prędkość większa od około 1200 m/s), z tymi, które uznano za zawierające zgniliznę wewnętrzną (prędkość poniżej 800 m/s).

Urządzeniem wykorzystanym w obu seriach pomiarów był młotek impulsowy (Impulshammer) produkowany przez Instrumenta Mechanik Labor GmbH. Pomiaru zostały wykonane późną jesienią. W okresie ich wykonywania panowały podobne warunki termiczne w obu latach (w roku 2012: +5°C a w 2015: +2°C), co zostało zmierzone w trakcie badań. Nie mie-

rzono natomiast temperatury ani wilgotności pni. Zapisana przez urządzenie prędkość propagacji dźwięku jest wynikiem uśrednionym z trzech ostatnich pomiarów, w których (zdaniem operatora) różnice były wystarczająco niewielkie. Pomiar prędkości opiera się na interpretacji parametrów fali dźwiękowej przechodzącej pomiędzy sondami wkręcanyymi do drewna. Przy wszystkich mierzonych drzewach wykorzystywano jednakowe długości wkrętów wprowadzanych tuż pod korę. Dane zebrane w terenie były automatycznie zapisywane przez urządzenie rejestrujące i eksportowane do arkusza kalkulacyjnego. Pomiarzy wykonano za zgodą Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w Warszawie (RDOŚ WPN-I.6205.99.2015.AZ).

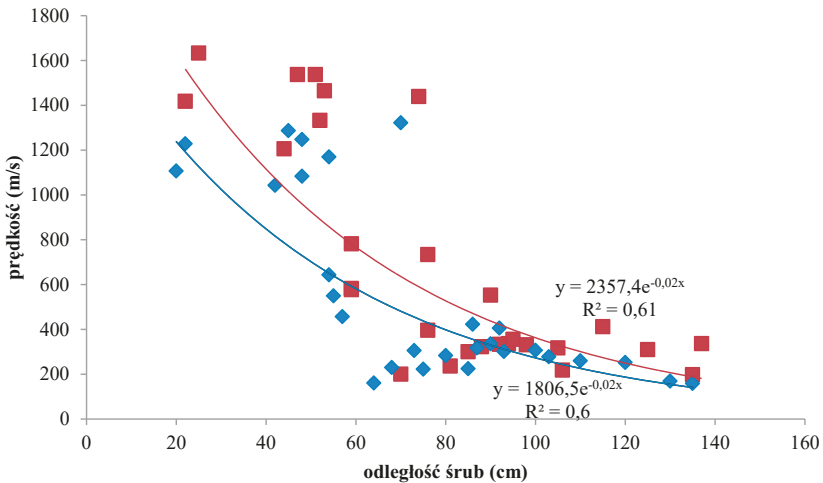


Ryc. 1. Rozmieszczenie stałych powierzchni próbnych w rezerwacie Las Natoliński użytych w badaniach
Fig. 1. Distribution of sample plots in nature reserve Las Natoliński used in this research

Wyniki i dyskusja

Przy grubości drzew od około 60 cm i większej maleje prędkość propagacji fali dźwiękowej. Może to sugerować, że w lokalnych warunkach, dęby o takich rozmiarach narażone są na rozwój zgnilizny w drewnie pni. Wiąże się to z ich wiekiem oraz stanem zdrowotnym. Dla cieńszych i młodszych osobników przepływ dźwięku osiągał prędkość ponad 1200 m/s (znana z drewna drzew zdrowych), a dla starszych wynosił poniżej 400 m/s (ryc. 2).

W przebadanej próbie, drzewa prawdopodobnie bez zgnilizny stanowią około 30% z wszystkich pomierzonych. Średnia prędkość dźwięku w pniach tych drzew wyniosła w 2015 roku 1446 m/s, a dla drzew ze zgnilizną 391 m/s.



Ryc. 2. Zależność prędkości fali dźwiękowej od grubości drzewa wyrażonej odległością pomiędzy sondami w 2012 r. (punkty czerwone) oraz 2015 r. (punkty niebieskie)

Fig. 2. Dependence of sound wave speed on the tree thickness expressed the distance between the probes in years 2012 (red dots) and 2015 (blue dots)

Porównanie dwóch grup: cienkich (prawdopodobnie młodych) oraz grubych (prawdopodobnie starych) osobników pozwala zauważyć zróżnicowanie wyników w obu pomiarach. Drzewa cieńsze, w większym stopniu różnią się prędkością propagacji pomiędzy kolejnymi pomiarami. Grubsze, ale i posiadające większy udział zgnilizny w znacznie mniejszym stopniu wykazują to zróżnicowanie. Linie trendu obrazują uśredniony rozkład zmierzonych prędkości fali dźwiękowej w danym roku pomiarowym w zależności od średnicy pnia (ryc. 2).

Można przypuszczać, że tego rodzaju prawidłowość wynika z samego tempa rozwoju zgnilizny. W dębach, w których rozwinęła się zgnilizna a jednocześnie są to drzewa istotnie grubsze, rozwój zgnilizny w ciągu trzech lat dzielących pomiary mniej wyraźnie wpływa na wynik. W drzewach stosunkowo cienkich postępujący rozwój zmian struktury wewnętrznej powoduje silniejszą zmianę prędkości propagacji fali dźwiękowej. Porównanie wyników z obu pomia-

rów nie wskazuje na postępowanie rozwoju zgnilizny. Wyniki pomiaru późniejszego są wyższe niż w pomiarze poprzednim. Jest to prawidłowość widoczna w całej próbie, w grupie młodszych i starszych drzew. Mogłoby to sugerować polepszenie się stanu zdrowotnego dębów lub oddziaływanie innego czynnika, który ma wpływ na wynik pomiaru. Podstawowym czynnikiem o takim charakterze jest temperatura otoczenia i drewna. Ten aspekt był badany i opisany w literaturze. W zakresie temperatur dodatnich Sandoz i in. (2000) wykazali, że wzrost prędkości propagacji fali dźwiękowej jest silnie uzależniony od spadku temperatury, co szczególnie widać w zakresie temperatur zbliżonych do zera. Różnice w temperaturach wyższych nie wydają się istotne. Potwierdzają to też badania współczesne (Gao i in. 2012 i 2013) także w zakresie temperatur ujemnych (Orzechowski i Budniak 2013). Badania Orzechowskiego i Budniaka (2013) były wykonywane tym samym sprzętem pomiarowym, jednakże na olszy i nie można użyć wskaźników korygujących opartych na ich wynikach.

W drzewach grubszych, o charakterystyce dźwiękowej sugerującej występowanie zgnilizny wewnętrznej różnice w prędkościach zanotowanych w obu terminach pomiarowych są niewysokie. Może to sugerować, że drzewa ze zgnilizną, która już spowolniła dźwięk nie wpływają silnie na sygnał dźwiękowy – są mniej wrażliwe na działanie czynnika zewnętrznego, np. temperatury powietrza i drewna. Pod warunkiem, że woda w rozłożonym drewnie nie zamrznie (Orzechowski i Budniak 2013).

Problemem badań z wykorzystaniem dźwięku jest temperatura ośrodka. Prędkość rozchodzenia się dźwięku w drewnie jest uzależniona od tego czynnika (Sandoz i in. 2000), ale badania w zakresie temperatur dodatnich (wykonane dla olszy) wykazały nieistotną różnicę wyników dla takiego zakresu temperatur (Orzechowski i Budniak 2013). Biorąc pod uwagę wpływ temperatury na wynik pomiaru, podjęto próbę zastosowania wskaźnika przeliczeniowego, który wyrównywałby warunki panujące w obu terminach pomiarowych. Dla dębów takie badania były przeprowadzane na terenie kampusu Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (niepublikowane). Ponieważ jednak w tych badaniach nie weryfikowano odwiertem występowania zgnilizny zdecydowano się zastosować wskaźnik przeliczeniowy wynikający z badań Sandoz i in. (2000) dla drewna zdrowych dębów. Podobna różnica temperatur zbliżonych do zera (różnica o ok. 3°C) dawała w tych badaniach zmianę o około 2,6% najwyższej osiąganą prędkości.

W większości analizowanych drzew, nawet po zastosowaniu przelicznika dla temperatur powietrza, osiągnięto w 2015 roku większe prędkości dźwięku niż miało to miejsce w 2012. Taka sytuacja może mieć różne wyjaśnienie. Wykluczyć należy raczej błąd pochodzący z samego urządzenia. W obu przypadkach używany był ten sam sprzęt pomiarowy i obsługiwała go ta sama osoba. Sam pomiar wykonany był również tak samo i w miejscach oznaczonych na korze farbą. Czujniki nie były wkręcane dokładnie w to samo miejsce, lecz tuż obok. Pomiar w tym samym miejscu mógłby być zniekształcony przez mikro-zmiany mechaniczne po wbitym wcześniej czujniku.

Największy wpływ na tego typu pomiary ma przede wszystkim temperatura. Różnica pomiędzy kolejnymi pomiarami wynosząca 3°C nie wskazywałaby na duże różnice pomiarowe. Po zastosowaniu przelicznika, prędkości i tak są wyższe od przewidywanych. Nasuwa się wobec tego pytanie czy wpływ na taką sytuację mają jeszcze inne czynniki niebrane wcześniej pod uwagę? Być może nie zanotowano zmian termicznych w okresie poprzedzającym drugi pomiar w odstępie kilkunastu dni. Nie jest wykluczone, że mogły wystąpić przymrozki, których efekt w postaci „twardszego” drewna był jeszcze notowany podczas pomiarów, nie ustąpił w chłodnej porze roku. Wykorzystując młotek impulsowy należy brać pod uwagę warunki

Tab. 1. Porównanie prędkości propagacji fali dźwiękowej w drzewach próbnych w obu pomiarach oraz przy zastosowaniu wskaźnika wyliczonego na podstawie badań Sandoz i in. (2000). Pogrubiono wartości dla drzew oszacowanych jako zdrowe – bez zgnilizny

Table 1. Comparison of sound wave propagation speed in test trees in both measurements and with the use of the ratio calculated on the basis of Sandoz et al. (2000). The values have been bolded for trees estimated as healthy – without decay

Nr kolejny drzewa	Pomiary z 2012 roku		Pomiary z 2015 roku		
	Odległość śrub [cm]	Prędkość [m/s]	Odległość śrub [cm]	Prędkość [m/s]	Prędkość po zastosowaniu wskaźnika Sandoz i in. (2000)
1	48	1083	52	1333	1298
2	70	1322	74	1439	1402
3	54	1169	57	1537	1497
4	68	230	76	734	715
5	92	406	94	336	327
6	103	278	106	218	212
7	120	252	125	310	302
8	22	1228	25	1633	1591
9	130	169	135	198	193
10	100	307	105	317	309
11	135	158	137	336	327
12	85	225	88	322	314
13	90	335	95	355	346
14	93	301	98	331	322
15	87	317	92	333	324
16	75	222	81	236	230
17	55	549	59	582	567
18	73	305	76	396	386
19	86	423	90	553	539
20	64	161	70	200	195
21	42	1043	44	1206	1175
22	45	1287	51	1537	1497
23	48	1247	53	1465	1427
24	80	283	85	300	292
25	54	643	59	782	762
26	57	457	59	577	562
27	20	1107	22	1418	1381
28	110	260	115	412	401

atmosferyczne w czasie pomiaru oraz w dniach poprzednich. Szczególnie problematyczne mogą być pomiary w temperaturach zbliżonych do zera, lub w dniach poprzedzonych okresami mrozu. Sugeruje to zasadność wykonywania pomiarów termicznych wnętrza pni przed wykonaniem pomiaru propagacji fali dźwiękowej. Do celów porównawczych potrzebne są wskaźniki termiczne wprowadzające poprawkę końcowego wyniku. Wymaga to szerszych badań z możliwością weryfikacji wyniku dla różnych gatunków drzew w różnych warunkach termicznych. Dane pochodzące z literatury wydają się niezbyt miarodajne, być może ze względu na odmiennosć stosowanych urządzeń

Na pewno należy wziąć również pod uwagę fakt przyrostu drzew. Z każdym rokiem na pniu drzewa odkłada się kolejna warstwa zdrowego drewna. Wobec czego, przy założeniu wolniejszego rozwoju strefy zgnilej w kierunku promienistym, zwiększa się stosunek zdrowego drewna do drewna ze zgnilizną. Sytuacja taka może mieć miejsce wówczas tylko, gdy zgnilizna nie powiększa swojego zasięgu. Mierzona prędkość dźwięku w takiej sytuacji rzeczywiście zwiększała, by swoją wartość. Przemawia za tym również zwiększona prędkość w większości zbadanych drzew. Może to mieć związek z ogólnie polepszającym się stanem zdrowotnym dębów w rezerwacie. Są to jednak tylko przypuszczenia bez możliwości ich weryfikacji. W takiej interpretacji zaobserwowanej anomalii może zastanawiać wyraźniejszy wzrost prędkości w drzewach młodszych, potencjalnie zdrowych niż w tych, w których prędkość fali dźwiękowej sugerowała obecność zgnilizny.

Potencjalny wpływ może mieć również rozkład opadów w danym roku lub w czasie poprzedzającym przeprowadzone pomiary. Wilgotność drewna również może mieć znaczenie w przepływie dźwięku. Parametr ten nie był jednak brany pod uwagę ze względu na założoną nieinwazyjność pomiarów. Pomimo, iż pomiary wykonane zostały w bardzo zbliżonym do siebie terminie to sama zawartość wody w pniu drzew może się znacznie różnić. Problem „tłumiącej” przepływ dźwięku wody zawartej w tzw. mokrej twardzieli został wykazany w pniach jodeł (M. Orzechowski – badania niepublikowane). Otwartym pozostaje pytanie w jakim stopniu warunki atmosferyczne wpływają na zawartość wody w drzewach w stanie bezlistnym.

Podsumowanie

Przeprowadzone dwukrotne badania potwierdziły zły stan zdrowotny dębów w rezerwacie Las Natoliński w Warszawie. Duża liczba osobników, zwłaszcza o pierśnicy grubszej od 60 cm wykazuje obniżoną prędkość propagacji fali dźwiękowej. Wskazuje to na obecność zgnilizny w pniu. W kilku przypadkach są to wartości bardzo niskie wskazujące na bardzo zły stan drzewa.

Przeprowadzone badania wykazały ograniczenia metody pomiaru propagacji fali dźwiękowej w przekroju poprzecznym pnia w monitoringu zgnilizny drzew w obiektach chronionych. Z drugiej strony podkreślić należy jej zalety: bezinwazyjność, krótki czas wykonywania pomiarów i porównywalność wyników.

Literatura

- Chomicz-Zegar E., Niemtur S., Kapsa M., Ambroży S. 2016. Występowanie zgnilizny odziomkowej drzew matecznych jodły pospolitej *Abies alba* Mill. i świerka pospolitego *Picea abies* (L.) z nadleśnictw karpackich. Leśne Prace Badawcze, 77 (3): 212-220.
- Dmyterko E. 2006. Cechy korony jako podstawa metody określania uszkodzenia drzewostanów olszy

- czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Pr. Inst. Bad. Leśn., Rozprawy i Monografie 5.
- Dzbeński W., Wiktorski T. 2008. Wykrywanie zgnilizny wewnątrz pni żywych drzew iglastych za pomocą techniki ultradźwiękowej. ITD, Poznań.
- Gao S., Wang X., Wang L., Allison R.B. 2012. Effect of temperature on acoustic evaluation of standing trees and logs: Part 1 – Laboratory investigation. *Wood Fiber Science*, 44 (3): 286-297.
- Gao S., Wang X., Wang L., Allison R.B. 2013. Effect of temperature on acoustic evaluation of standing trees and logs: Part 2 – Field investigation. *Wood and Fiber Science*, 45 (1): 15-25.
- Hartmann G., Franz N., Heinz B. 2009. Atlas uszkodzeń drzew leśnych, Tom I, Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- Larsson B., Bengtsson B., Gustafsson M. 2004. Nondestructive detection of decay in living trees. *Tree Physiol.*, 24 (7): 853-858.
- Orzechowski M. 2007. Ochrona przyrody i zabytków w rezerwacie Las Natoliński. *Studia i Materiały CEPL, Rogów*, 16 (2/3): 254-266.
- Orzechowski M., Budniak P. 2013. Prędkość propagacji fali dźwiękowej w pniach olszy czarnej *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. w zależności od temperatury. *Leśne Prace Badawcze*, 74 (4): 285-291.
- Orzechowski M., Kacprzak J., Kędziora W. 2016. Zamieranie jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior* L.) w rezerwacie Jesionowe Góry *Leśne Prace Badawcze*, 77 (2): 124–133.
- Oszako T. 2006. Mechanizm zjawiska zamierania drzewostanów dębowych. *Las Polski*, 5: 8-10.
- Plan ochrony przyrody w rezerwacie Las Natoliński 2007. Projekt – Maszynopis w Katedrze Urządzenia Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa SGGW.
- Sandoz J., Benoit Y., Demay L. 2000. Standing tree quality assessment using Acousto Ultrasonic. *Proceedings of International Symposium on Plant Health in Urban Horticulture*: 172-179. Braunschweig, 22-25 May 2000.
- Wang X., Divos F., Pilon C., Brashaw B. K., Ross R. J., Pellerin R. F. 2004. Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools – A guide for use and interpretation. *Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-147*. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 12 p. Madison, WI: U.S.

Radosław Czechyra¹, Michał Orzechowski²

¹ Sekcja Urządzenia Lasu, Koła Naukowego Leśników

² Katedra Urządzenia Lasu i Ekonomiki Leśnictwa

Wydział Leśny, SGGW w Warszawie

radekcz4@onet.pl, morzechowski@wl.sggw.pl