

Ocena dokładności określania miąższości kłód przez harwestery wyposażone w system Opti4G

Robert Tomusiak, Łukasz Ludwisiak, Tadeusz Moskalik, Marcin Gołębiowski

Abstrakt: W ciągu kilku ostatnich lat w Polsce znacząco wzrosła miąższość drewna pozyskiwanego przez maszyny wielooperacyjne, wyposażone w skomputeryzowane systemy pomiarowe. W wielu krajach informacja o miąższości pozyskiwanego drewna podawana przez komputery pokładowe maszyn wielooperacyjnych wykorzystywana jest w obrocie drewnem. W Polsce leśnicy wykonują natomiast dodatkowe pomiary kłód, a ich miąższość wyliczana jest na podstawie wzorów zaimplementowanych w Systemie Informacyjnym Lasów Państwowych.

Głównym celem niniejszej pracy jest ocena dokładności systemów pomiarowych służących określaniu miąższości kłód, w jakie wyposażone są harwestery z oprogramowaniem Opti4G. Ocena została przeprowadzona dla sosny zwyczajnej na podstawie błędów określania miąższości. Błędy dla każdej kłody określano z różnicy miąższości wyliczonej danym systemem z miąższością rzeczywistą, za którą przyjęto miąższość obliczoną wzorem sekcyjnym środkowego przekroju.

Dane empiryczne, na podstawie których oceniano dokładność systemów określania miąższości w oprogramowaniu Opti4G, pochodzą ze zrębów zupełnych zlokalizowanych w Puszczy Piskiej (północna Polska) i Puszczy Sandomierskiej (południowa Polska). Materiał badawczy obejmował wyniki pomiarów grubości pnia w korze i bez kory w środkach sekcji metrowej długości. Badania przeprowadzono dla kłód trzy- i pięciometrowych dla kilku metod pomiaru.

Wyniki badań wskazują, iż jedynie w nielicznych przypadkach miąższość obliczona przy zastosowaniu oferowanych przez system Opti4G metod pomiarowych może być uznana za właściwą do stosowania w polskich lasach. Najważniejszą przyczyną błędów w określaniu miąższości jest sposób redukcji kory oraz dobór wielkości współczynnika zbieżystości w poszczególnych metodach pomiarowych. Stwierdzone błędy systematyczne uzasadniają potrzebę walidacji metod stosowanych w maszynach wielooperacyjnych.

Słowa kluczowe: harwester, miąższość kłód, system pomiarowy, błędy określania miąższości.

Abstract: Evaluation of logs' volume determination by harvesters equipped with Opti4G software. The volume of the timber harvested in Poland by using multi-operation machines has increased significantly over the last few years. All harvesters come equipped with computerized measurement systems. In many countries, information about the volume of harvested wood comes directly from the on-board computers and is used in trade; in Poland not yet.

Foresters make additional measurements of logs and their volume is calculated in States Forest Information System.

The main purpose of the research presented in this study was to assess the accuracy of measurement systems used in harvesters equipped with Opti4G software for Scots pine – the main tree species in Polish forests. The analysis include volume errors as a result of subtraction between volume calculated by harvester system and volume calculated by Huber sectional formula, assumed as real volume.

The measurement data come from the Piska Forest located in North of Poland and the Sandomierska Forest (South of Poland). Empirical material includes diameters outside and inside bark measured in one meter long sections. The investigation was carried out for 3 and 5 meters long logs with few variants of the measurement.

The main point that can be taken from this research is that only in certain cases selected variants of measurement methods can be considered as appropriate to use in Polish forests conditions. In addition, the work shows that the biggest number of inaccuracies in determining the volume results from the size and manner of bark reduction and also the selection of taper coefficient. The observed systematic errors indicate a need to validate measurement methods used by multi-operation machines.

Key words: harvesters, log volume, volume measurement system, accuracy of volume determination.

Wstęp

Intensywny rozwój technologii pozyskiwania drewna wykorzystujący maszyny wielooperacyjne obserwowany jest w Europie już od ponad 20 lat. W Polsce w ciągu ostatnich kilku lat nastąpił dynamiczny przyrost liczby harwesterów i forwaderów. Na popularność stosowania tego typu maszyn w procesach pozyskiwania drewna wpływają takie czynniki jak: ograniczenie ciężkiej i niebezpiecznej pracy ludzkiej, niższe koszty jednostkowe w porównaniu z pracą ręczną, możliwość szybkiego dostosowania się do wymagań rynku drzewnego, liczne uwarunkowania hodowli i ochrony lasu, a także możliwości ograniczenia szkód w glebie i w pozostającym drzewostanie (Moskalik 2008). Szacuje się, że w Polsce pracuje obecnie około 350 harwesterów pozyskujących około 4 mln m³ drewna (Żabierek i Wojtkowiak 2013).

Do wymienionych powyżej zalet, wynikających ze stosowania harwesterów, warto dodać fakt, iż maszyny te posiadają skomputeryzowany system umożliwiający optymalizację rozkroju strzały i pomiar miąższości pozyskiwanych kłód. W wielu krajach Europy pochodzące z harwesterów dane dotyczące miąższości pozyskanego drewna są używane w obrocie drewnem. Polskie przepisy obowiązujące w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe na to nie zezwalają. Ewidencja drewna odbywa się na podstawie ręcznego pomiaru i wyliczeń miąższości dokonanych w Systemie Informatycznym Lasów Państwowych. Realizowana w ten sposób odbiórka drewna jest pracochłonna, gdyż ustalenie miąższości wyrobionych kłód odbywa się sztucznie poprzez pomiar długości każdej kłody oraz średnicy górnej bez kory. Dopuszcza się również odbiór kłód w stosach z wykorzystaniem współczynników zamiennych.

W obu przypadkach w ewidencji drewna nie wykorzystuje się informacji o pozyskanej miąższości drewna, jakie oferuje maszyna. Dlatego też uzasadnione wydaje się zbadanie możliwości wykorzystania miąższości drewna podawanych przez komputery harwesterów w ewidencji i obrocie drewnem w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe.

Celem niniejszej pracy jest ocena dokładności określania miąższości różnych systemów pomiarowych oferowanych przez aplikację harwestera dla dwóch wariantów długości kłód. Badania przeprowadzono dla głównego gatunku lasotwórczego na terenie Polski, jakim jest sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) zajmująca blisko 59,5% powierzchni leśnej (GUS 2013). Analizy wykonano dla systemów pomiarowych zawartych w aplikacji Opti4G, w jaką w większości wyposażone są harwestery firmy PONSSE.

Teren badań i materiał badawczy

W pracy wykorzystano wyniki pomiarów sekcyjnych sosny zwyczajnej w korze i bez kory na powierzchniach badawczych zlokalizowanych na terenie Puszczy Sandomierskiej (PS) oraz Puszczy Piskiej (PP). W obu przypadkach były to jednopiętrowe i jednowiekowe drzewostany na typowym dla sosny siedlisku boru świeżego. Również wiek sosen na obu powierzchniach był zbliżony; w Puszczy Sandomierskiej wynosił 87 lat, a w Puszczy Piskiej 94 lata. Porównywane drzewostany miały także zbliżone inne elementy taksacyjne: przeciętną pierśnicę (29,6 cm – PS i 30,8 cm – PP) oraz przeciętną wysokość (odpowiednio 23,9 m – PS i 25,5 m – PP).

Powierzchnia z Puszczy Sandomierskiej, oznaczana w niniejszej pracy symbolem PS, zlokalizowana była na terenie obecnego Nadleśnictwa Rudnik (RDLP Lublin). Teren badań znajdował się w obrębie VI krainy przyrodniczo-leśnej – Małopolskiej. Zrąb założono na powierzchni 1,25 ha, gdzie pomiarom podlegało 561 drzew leżących.

Powierzchnia zrębowa z północnej części Polski zlokalizowana została w Puszczy Piskiej na terenie Nadleśnictwa Pisz, gdzie na działce o powierzchni 1,31 ha pomierzono 512 drzew. Drzewostan został zaklasyfikowany do I klasy bonitacji i położony był na terenie II krainy przyrodniczo-leśnej Mazursko-Podlaskiej.

W obydwu nadleśnictwach sosna zwyczajna ma największy udział w składzie gatunkowym drzewostanów. Jej udział powierzchniowy w Nadleśnictwie Rudnik wynosi 82% (www.lublin.lasy.gov.pl/web/rudnik/), a w Nadleśnictwie Pisz 84% (www.olsztyn.lasy.gov.pl/lkp/nadlesnictwo-pisz/).

Metodyka badań

Do badań wybrano losowo po 100 drzew spośród 561 drzew ze zrębu w Puszczy Sandomierskiej i 512 w Puszczy Piskiej. Grubości drzew były pomierzone sekcyjnie w korze i bez kory w środkach jednometrowych sekcji z zaokrągleniem do 1 mm. Wygenerowanie numerów losowych drzew odbyło się za pomocą formuły:

$$[= \text{los}()*(b-a)+a]$$

w arkuszu kalkulacyjnym MS Office, gdzie „a” oznacza pierwszy, a „b” ostatni numer drzewa z losowanej puli (Walkenbach 2004).

W dalszej kolejności dla każdego drzewa wygenerowano kłody 3- i 5-metrowe. Za granicę dolną grubości w cieńszym końcu bez kory dla kłody 5-metrowej uznano 200 mm, a dla kłody 3-metrowej – 140 mm bez kory. Przy podziale strzały na kłody w pierwszej kolejności,

począwszy od podstawy drzewa, sprawdzany był warunek dla sortymentu cenniejszego, jakim była kłoda 5-metrowa, a przy braku jego spełnienia warunek dla kłody 3-metrowej. Innych sortymentów w bieżącej analizie nie generowano, stąd też część strzały, która na odcinku trzech metrów nie posiadała średnicy co najmniej 140 mm była odrzucana z analizy. Po zastosowaniu takiego sposobu generowania kłód uzyskano dla Puszczy Piskiej 236 kłód 3-metrowych i 194 kłody 5-metrowe. Dla Puszczy Sandomierskiej uzyskano 269 kłód 3-metrowych i 118 kłód 5-metrowych. Łącznie w analizach uwzględniono 817 kłód wygenerowanych z 200 drzew.

Dla wygenerowanych w ten sposób kłód określono miąższość rzeczywistą za pomocą wzoru sekcyjnego środkowego przekroju, w stosunku do której obliczano błędy procentowe wtórne miąższości wyznaczonych z wykorzystaniem systemów pomiarowych stosowanych w harwesterach z oprogramowaniem Opti4G.

Możliwości określania miąższości kłód przez harwestery obejmują wiele systemów pomiarowych. O wyborze konkretnego systemu do pomiarów decyduje użytkownik-operator. Spośród wielu dostępnych systemów pomiarowych w harwesterach wyposażonych w oprogramowanie Opti4G do porównania wybrano cztery systemy dostępne w aplikacji OptiEditor:

- M1 – metoda określania miąższości według objętości walca, pomiar średnicy dokonywany jest w cieńszym końcu,
- M3 – metoda według przeciętnej średnicy środkowej – pomiar średnicy dokonywany jest w cieńszym końcu, a przeliczenie na średnicę w środku długości dokonywane jest z wykorzystaniem współczynnika zbieżności 1,0 cm/m,
- M4 – metoda według przeciętnej średnicy środkowej – pomiar średnicy w cieńszym końcu, a przeliczenie na średnicę środkową odbywa się z wykorzystaniem dowolnego współczynnika zbieżności. W niniejszej pracy zastosowano współczynnik zbieżności 0,7 cm/m zgodnie z tablicami miąższości kłód z 2004 r.,
- M5 – metoda wg rzeczywistej, zmierzonej średnicy środkowej. Metoda ta jest często stosowana w PGL Lasy Państwowe.

Dane wejściowe do stosowania w wymienionych systemach pomiarowych (średnica w cieńszym końcu bądź w środku kłody) uzyskano z interpolacji pomiarów grubości dokonanych w środkach jednometrowych sekcji. Z uwagi na fakt, iż harwester mierzy średnicę pnia razem z korą, we wszystkich metodach należało dokonać potrącenia na korę. Czynność tę przeprowadzono zgodnie z normą PN-D-95000:2002, według której redukcja na korę wynosi 2 cm dla średnic do 35 cm oraz 3 cm dla średnic powyżej 35 cm. W obliczeniach miąższości nie stosowano zaokrągleń, a do obliczeń długości przyjęto długość nominalną. Przeprowadzono również analizę dokładności określania miąższości kłód w zależności od położenia kłody na strzale.

Dla każdej analizowanej grupy błędów procentowych wtórnych zweryfikowano hipotezę czy średnia arytmetyczna w populacjach, z których pobrano próby, wynosi 0%. Weryfikację przeprowadzono za pomocą testu t dla pojedynczej próby przy poziomie istotności 0,05. Wielkości prawdopodobieństwa testowego mniejsze od 0,05 świadczą o powstawaniu błędów systematycznych.

Wyniki badań i dyskusja

Na pierwszym etapie analiz wyliczono średnie wielkości błędów procentowych wtórnych dla każdego z ocenianych systemów pomiarowych, przy uwzględnieniu długości kłody. W każdym wariancie uzyskano wartości ujemne. Zaobserwowano również znaczące różnice

w dokładności przy określaniu miąższości kłód 3- i 5-metrowych, na korzyść tych ostatnich. Przy porównaniu lokalizacji na ogół większe błędy dotyczyły Puszczy Sandomierskiej.

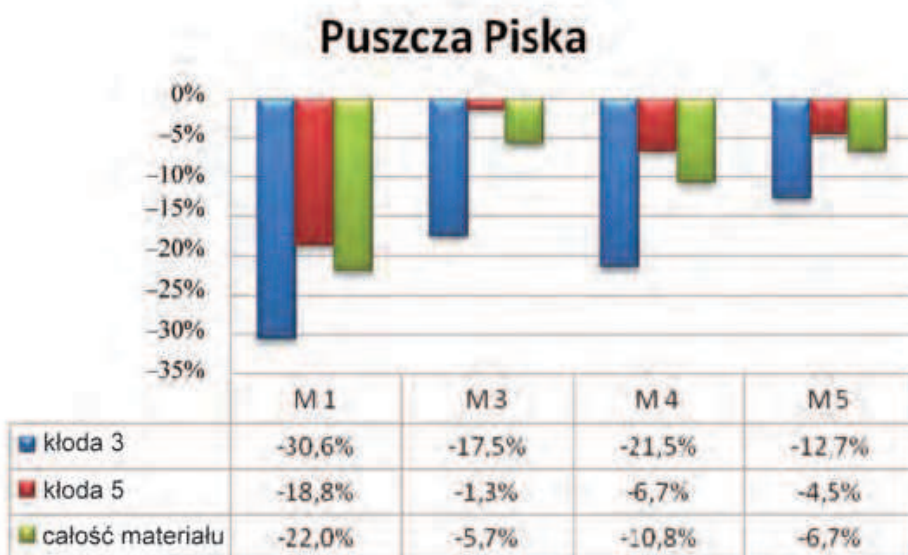
Spośród wszystkich metod stosowanych w harwesterach najmniejszą dokładnością charakteryzuje się metoda M1 (według objętości walca), zaniżająca miąższość kłód o około 22% (ryc. 1–2). Jej bardzo niska dokładność wynika z miejsca pomiaru średnicy i braku jej interpolacji. Tak zwana czubośrednica użyta do obliczenia objętości walca daje wartości znacznie mniejsze od rzeczywistych.

Podobnym poziomem przeciętnej wielkości błędów procentowych wtórnych charakteryzują się metody M3 (według przeciętnej średnicy środkowej przy zbieżności 1,0 cm/m) i M5 (według rzeczywistej, zmierzonej średnicy środkowej), przyjmując średnio dla wszystkich kłód wartości od –6,7 do –5,7%, przy czym dla kłód 3-metrowych dokładniejsza okazała się metoda M5 a dla kłód 5-metrowych metoda M3 (ryc. 1–2). W tych metodach obserwowane są najniższe błędy dla analiz uwzględniających podział na kłody: –1,3% dla kłód 5-metrowych (metoda M3, Puszcza Piska) oraz –10,4% dla kłód 4-metrowych (metoda M5, Puszcza Sandomierska).

Zasadnicza różnica pomiędzy metodami M3 i M4 wynika z doboru współczynnika zbieżności pnia. W pierwszej z nich jest on wartością stałą, podczas gdy w drugiej operator harwestera może wprowadzić ten współczynnik sam, w zamyśle konstruktorów najwłaściwszy dla wyrabianego gatunku i uwarunkowań wzrostu. Uzyskane wyniki świadczą o tym, iż metoda M3 jest dokładniejsza niż M4. Oznacza to, że zastosowanie współczynnika zbieżności 1,0 cm/m znacząco wpływa na dokładność określania miąższości, co zostało stwierdzone dla obydwu lokalizacji.

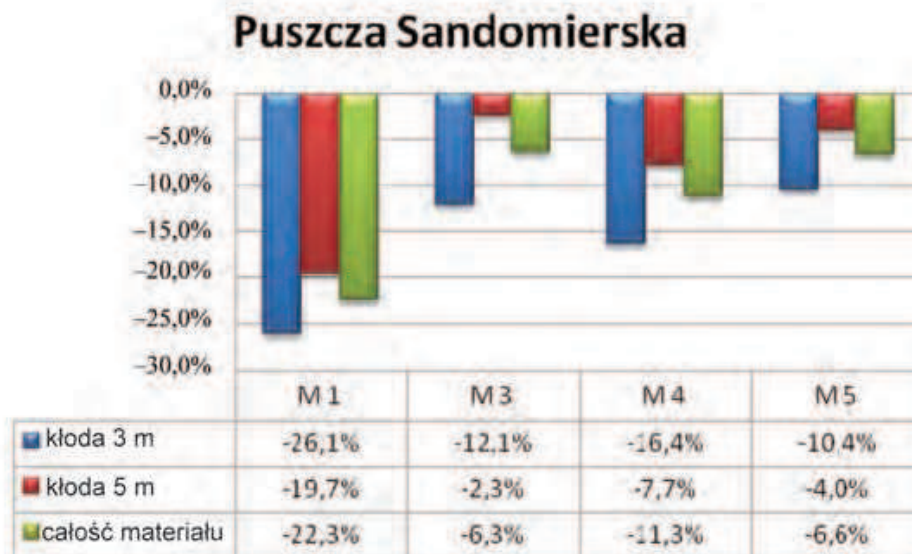
Metoda M5 charakteryzuje się nieco mniejszą dokładnością niż metoda M3, jednak wciąż znacznie większą od dwóch pozostałych. Średnia wielkość błędów procentowych wtórnych, szczególnie duża dla kłód 3-metrowych, może wynikać ze sposobu potrącenia kory.

Przeprowadzony test *t* dowodzi, że tylko w nielicznych przypadkach można uznać określoną miąższość za nieobciążoną błędem systematycznym.



Ryc. 1. Przeciętne wielkości błędów procentowych wtórnych miąższości z podziałem na długość kłody i zastosowaną metodę pomiarową dla sosny z Puszczy Piskiej

Fig. 1. The average error rates of secondary volume divided into the length of the logs and the measurement method for Scots pine coming from the Sandomierska Forest



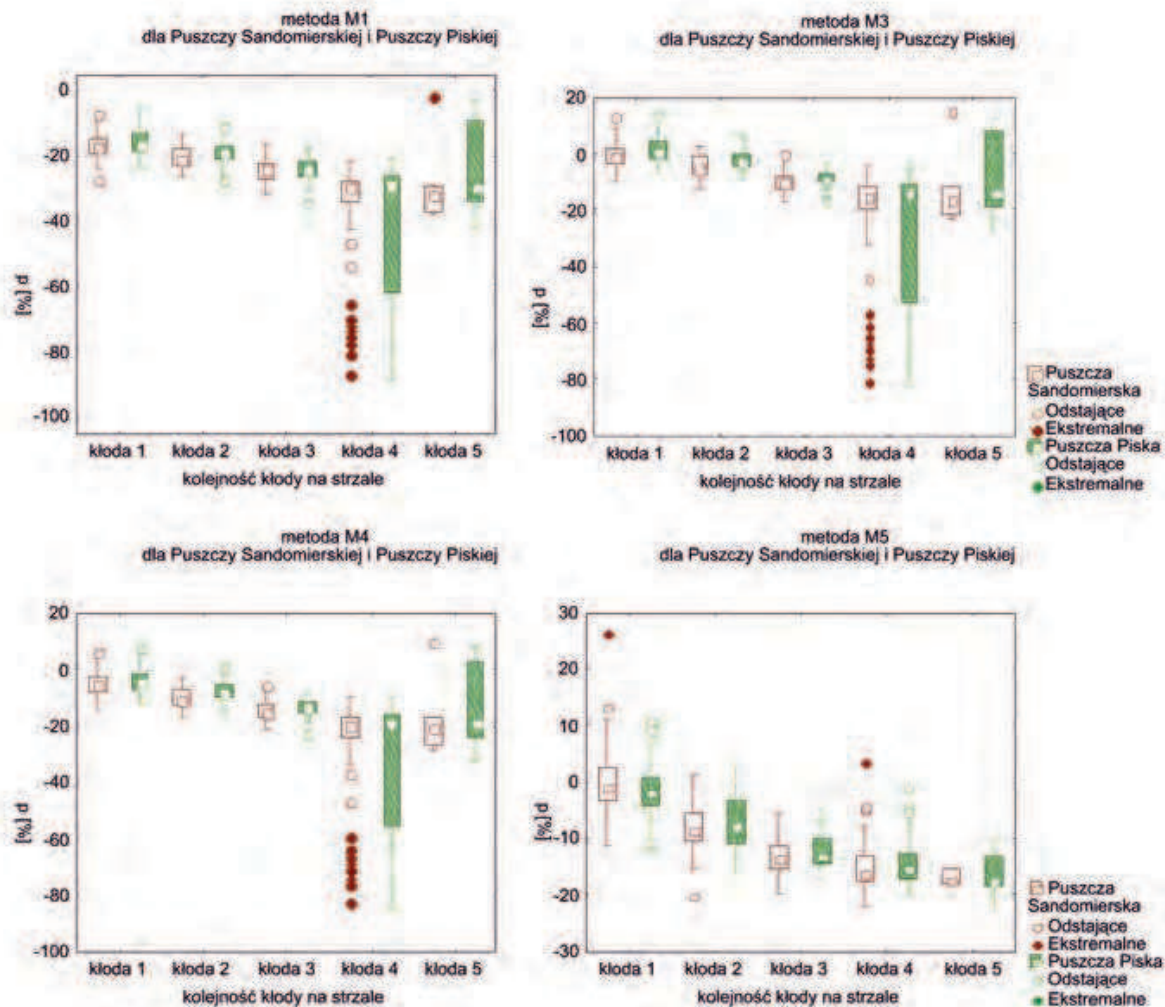
Ryc. 2. Przeciętne wielkości błędów procentowych wtórnych miąższości z podziałem na długość kłody i zastosowaną metodę pomiarową dla sosny z Puszczy Sandomierskiej

Fig. 2. The average error rates of secondary volume divided into the length of the logs and the measurement method for Scots pine coming from the Sandomierska Forest

Z uwagi na położenie kłód na strzale, bez uwzględnienia ich długości, najmniejszym poziomem a jednocześnie najmniejszą zmiennością wielkości błędu procentowego wtórnego miąższości charakteryzowały się pierwsze trzy kłody w metodach M1, M3 i M4 (ryc. 3). Pomimo że wspomniana zmienność jest niewielka, to najdokładniej określana jest objętość dwóch pierwszych kłód w metodach M3 i M4. Największą zmienność błędów procentowych wtórnych zaobserwowano dla czwartej kłody na strzale.

Za najlepszą strategię ekonomiczną dla właściciela lub zarządcy lasów należy przyjąć zasadę redukcji kosztów produkcji lub poszukiwania dodatkowych przychodów, na przykład poprzez optymalizację rozkrojów drewna (Heinimann 1996). Z pewnością do redukcji kosztów przyczynić by się mogło odciążenie leśników od odbiórki drewna i wykorzystanie rejestru wygenerowanego przez harwester. Z kolei optymalizacja rozkrojów drewna może być realizowana poprzez wykorzystanie programów optymalizacyjnych. Niestety, to gotowe narzędzie, jakie znajduje się w każdym harwesterze bez względu na producenta, w Polsce praktycznie nie jest wykorzystywane. Program ten bez cennika nie działa, ponieważ jego zadaniem jest maksymalizacja wartości drewna poprzez jego manipulację (Robert 2009).

Wielkość pozyskania drewna przez maszyny wielooperacyjne wzrasta w Polsce z roku na rok. Z uwagi na strukturę wiekową i gatunkową prawdopodobnie nigdy nie osiągnie ona poziomu dziewięćdziesięciu kilku procent, jak ma to miejsce np. w Irlandii (Nieuwenhuis 2006), lecz stopniowe wypieranie ręczno-maszynowego sposobu wyróbki drewna jest procesem nieuchronnym i z ekonomiczno-ergonomicznego punktu widzenia właściwym. Należy więc podjąć działania zmierzające do zaadaptowania istniejących już metod pomiarowych do naszych warunków przyrodniczych lub stworzenia nowych. Może się okazać, że metody obliczania miąższości sprawdzające się w warunkach skandynawskich (Möller 1998) są właściwe i dla naszej szerokości geograficznej, po zmianie parametrów zawartych w oprogramowaniu harwestera.



Ryc. 3. Wielkość błędów procentowych wtórnych w zależności od położenia kłody na strzale
 Fig. 3. The secondary error rates depending on the position of the log into the tree stem

Niezbędne wydają się zatem badania zmierzające do szerszej oceny systemów pomiarowych stosowanych w harwesterach i próba ich kalibracji. Wyniki niniejszej pracy wskazują, iż obszary w których można dokonać zmian w oprogramowaniu harwestera, obejmują korektę sposobu i wielkości redukcji kory oraz weryfikację stosowanej wielkości zbieżystości.

Wnioski

1. Wyniki badań wskazują, iż stosowanie metod określania miąższości w harwesterach wyposażonych w system Opti4G wiąże się z zaniżaniem miąższości kłód (systematyczne błędy ujemne przekraczające nawet 30%).
2. Wraz ze zmianą położenia kłody na strzale w kierunku wierzchołka na ogół wzrastają błędy ujemne miąższości kłód. Większe błędy obserwuje się również dla kłód krótszych.
3. Jedynie w nielicznych przypadkach miąższość obliczona ocenianymi metodami pomiarowymi oferowanymi przez system Opti4G może być uznana za właściwą do stosowania

- w polskich lasach. Najlepsza z porównywanych metod okazała się metoda M3 (według przeciętnej średnicy środkowej z wykorzystaniem zbieżystości 1,0 cm/m).
4. Najważniejszą przyczyną błędów w określaniu miąższości kłód jest wielkość i sposób redukcji kory oraz dobór wielkości współczynnika zbieżystości w poszczególnych metodach pomiarowych.
 5. Stwierdzone błędy systematyczne uzasadniają potrzebę walidacji metod pomiarowych stosowanych w maszynach wielooperacyjnych dla sosny zwyczajnej.

Literatura

- GUS. 2013. Leśnictwo. Warszawa.
- Heinimann H. R. 1996. Umweltvertägliche Forsttechnik als Voraussetzung für naturnahe Waldwirtschaft. Forst Und Holz Nr 9.
- Moskalik T. 2008. Maszyny wielooperacyjne; perspektywy rozwoju maszynowego pozyskania drewna w Polsce; czynniki ograniczające wprowadzanie maszyn wielooperacyjnych; technologie wykorzystujące maszynowe pozyskanie drewna – argumenty za i przeciw. Wydawnictwo Świat, Warszawa.
- Möller J.J. 1998. Virkesmatning med skoerdare. SkogForsk Resultat Nr 16.
- Nieuwenhuis M., Dooley T. 2006. The Effect of Calibration on the Accuracy of Harvester Measurements. International Journal of Forest Engineering, Volume 17 No. 2.
- PN-D-95000:2002 – Surowiec drzewny. Pomiar, obliczanie miąższości i cechowanie.
- Robert W. 2009. Sortymentacja, pomiar i odbiór drewna pozyskanego w procesach technologicznych z zastosowaniem maszyn wielooperacyjnych. Techniki i technologie prac w użytkowaniu głównym ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania maszyn wielooperacyjnych. Wydawnictwo Świat, Warszawa.
- Walkenbach J. 2004. Excel 2003 PL. Biblia. Wydawnictwo Helion, Gliwice.
- www.lublin.lasy.gov.pl/web/rudnik/ – strona internetowa Nadleśnictwa Rudnik; stan na listopad 2013.
- www.olsztyn.lasy.gov.pl/lkp/nadlesnictwo-pisz/ – strona internetowa Nadleśnictwa Pisz; stan na listopad 2013.
- Żabierek R., Wojtkowiak R. 2013. Liczba harwesterów i forwarderów w Polsce. Drwal nr 9, 22–23.

Robert Tomusiak, Łukasz Ludwisiak

Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu

Wydział Leśny

SGGW w Warszawie

robert.tomusiak@wl.sggw.pl

lukasz.ludwisiak@wl.sggw.pl

Tadeusz Moskalik

Katedra Użytkowania Lasu

Wydział Leśny

SGGW w Warszawie

tadeusz.moskalik@wl.sggw.pl

Marcin Gołębiowski

Centrum Koordynacji Projektów Środowiskowych – Lasy Państwowe

marcin.golebiowski@ckps.lasy.gov.pl