

Zakres wykorzystania pnia i jakość sortymentów pozyskanych harvesterem w drzewostanie sosnowym II klasy wieku

Harvester efficiency in trunk utilisation and log quality of early thinning pine trees

Piotr S. Mederski^{1*} , Konrad Werk¹, Mariusz Bembenek¹ , Zbigniew Karaszewski², Mariusz Brunka^{1,3} Kwiryn Naparty^{1,4}

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

²Instytut Technologii Drewna, ul. Winiarska 1, 60-654 Poznań; ³Nadleśnictwo Rytel, Rytel-Dworzec 4, 89-642 Rytel;

⁴Nadleśnictwo Pniewy, ul. Wolności 4, 62-045 Pniewy

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

Abstract. Obtaining high harvester efficiency in young pine stands during early thinning is a challenging management practice. One of the difficulties lies in achieving the optimal use of the tree trunk for assortments and obtaining satisfactory timber quality. The objective of this research was to find out 1) how much of the tree trunk can be processed by a harvester to produce logs, and 2) the quality of the assortments in terms of log length accuracy and delimiting quality. The work was carried out in a 31-year-old pine stand in Northern Poland with a Vimek 404 5T harvester using a Keto Forst Silver head for early thinning. Eighty sample plots were set up within the stand for detailed tree analysis after harvesting. The total length of the assortments from each tree was measured as well as the minimal top diameter (under bark). Additionally, the lengths of the bottom, middle and top logs were measured as well as the height of the knots after delimiting. On average, 70% of the total tree height was used for assortments and logs were processed up to a mean top diameter of 5.3 cm under bark. The length accuracy was very high: 81% of the logs had the expected length, more than 90% had a commercially acceptable length, while only 0.7% of the logs were too long. The average height of knots after delimiting was up to 1 cm. We therefore conclude that using a Vimek 404 5T in the 31-year-old pine stand was an effective solution for trunk processing and obtaining quality assortments.

Keywords: *Pinus sylvestris* L., Vimek 404 T5, bucking accuracy, quality of delimiting

Słowa kluczowe: *Pinus sylvestris* L., Vimek 404 T5, dokładność przerzynki, jakość okrzesywania

1. Wstęp

Harwestery, zwykle wykorzystywane do prac pozyskaniowych w trzebieżowych i rębnych drzewostanach iglastych, bywają również stosowane w drzewostanach mieszanych lub liściastych (Mederski 2013; Moskalik et al. 2017; Mederski et al. 2018a). Struktura gatunkowa lasów w Polsce z gatunkami głównie iglastymi, zajmującymi 69,6% powierzchni leśnej (Leśnictwo 2014), sprzyja pozyskaniu zmechanizowanemu (Mederski et al. 2016). Jednocześnie obserwuje się postępy w zmechanizowanym pozyskiwaniu drewna w drzewostanach młodszych klas wieku, z zastosowaniem w trzebieżach wczesnych procesorów (Stańczykiewicz et al. 2011, 2015) oraz harvesterów (Mederski et al. 2018b).

Od początku ubiegłego dziesięciolecia liczba maszyn wielooperacyjnych w Polsce zaczęła intensywnie wzrastać (Mederski et al. 2016). W roku 2008 na terenie naszego kraju

pracowało łącznie 419 harvesterów i forwarderów. W ciągu trzech lat liczba ta wzrosła niemal dwukrotnie do 836 sztuk, co stanowiło największy wzrost liczebności maszyn w całej Europie (Żabierek, Wojtkowiak 2013). Z badań dotyczących zmian liczby samych harvesterów wynika, iż w 2014 roku w Lasach Państwowych pracowało ich ok. 460, a w 2015 ok. 530 (Mederski et al. 2016).

Zastosowanie harvesterów wpływa na jakość surowca. Poprzez jakość surowca należy rozumieć dokładność okrzesywania gałęzi, dokładność wyrobienia sortymentów pod względem długości i grubości, nieobecność pęknięć powstających podczas przerzynki, uszkodzenia pobocznic pnia w postaci ścięcia kory i drewna przez noże okrzyszujące oraz uszkodzenia pobocznic pnia kolcami walców podających (Karaszewski et al. 2016b). W wyniku prac pozyskaniowych, zarówno pilarką, jak i harvesterem, mogą powstawać wady w postaci zbyt wysokich sęków, pęknięć okrężnych i prostych oraz odłupów

Wpłynęło: 24.02.2019 r., recenzowano: 8.03.2019 r., zaakceptowano: 25.03.2019 r.

i rozłupów. Mogą też powstawać wady wynikające z pracy głowicy harwestera – zniekształcenia pobocznic przez noże okrzesujące oraz nacięcia wierzchniej warstwy drewna przez kolce walców podających (Karaszewski et al. 2016a).

Trudności w pozyskiwaniu drewna liściastego przez harwestery wynikają z morfologii drzew. Gatunki liściaste charakteryzują się większymi krzywiznami, rozbudowanymi koronami oraz gałęziami o dużych średnicach (Mederski et al. 2018a). Wielofunkcyjna głowica harwestera dokonuje, oprócz ścinki i okrzesywania, również wyrzynki sortymentów. Ich długość mierzona jest zazwyczaj przez kółko pomiarowe znajdujące się na ramie głowicy w centralnej części. W zależności od cech surowca, takich jak krzywizna, obecność kory czy oblodzenie – może dochodzić do niedokładności w wyrzynce sortymentów.

Trudności z wyrabianiem sortymentów z drzew iglastych i liściastych były powodem podjęcia badań nad dokładnością wyrzynki sortymentów pochodzących z różnych części pnia. W części odziomkowej można spodziewać się występowania zgrubień odziomkowych i napływów korzeniowych. W wierzchołkowych, ugałęzionych częściach drzew występują również rozgałęzienia, a także częste krzywizny. Najkorzystniejsza pod kątem braku wad jest część środkowa pnia, co zostało potwierdzone m.in. w badaniach Różańskiego (1993) oraz Mederskiego i in. (2018a).

Porównanie dokładności wyrzynki badano również w odroślowych drzewostanach dębowych i olszowych, w okresie wegetacyjnym oraz poza nim. Wykazano, iż większą dokładność na długości uzyskano w czasie sezonu wegetacyjnego; ponadto sortymenty olszowe charakteryzowały się lepszą dokładnością na długości w porównaniu z sortymentami dębowymi (Karaszewski et al. 2017).

Problematyka dokładności okrzesania drewna olszowego w porównaniu z okrzesaniem drewna sosnowego i świerkowego była przedmiotem pracy Karaszewskiego i in. (2016b). Autorzy potwierdzili najlepszą jakość okrzesywania na środkowych wałkach olszowych oraz środkowych wałkach świerkowych, natomiast najgorszą jakość okrzesywania na wierzchołkowych wałkach olszowych. W badaniach Kusiaka i Śliwińskiego (2014) stwierdzono, iż okrzesywanie sortymentów sosnowych pilarką było dokładniejsze niż harwestem. Jednocześnie harwester pozwalał na uzyskanie dokładniejszej długości wałków i kłód w porównaniu z wyrzynką ręczno-maszynową.

Dokładność wyrzynki sortymentów może być szczególnie istotna dla wybranych sposobów przerobu drewna. Sortymenty zbyt długie mogą stanowić utrudnienie w przemyśle papierniczym, podczas gdy zbyt krótkie wałki są niepożądane m.in. przy produkcji palet, czy w programie ogrodowym (Bembenek et al. 2015).

Jedną z pierwszych prac w literaturze przedmiotu, określających stopień wykorzystania grubizny i jakość sortymentów wyrobionych przez harwester, opublikował Mederski (2013). Badania wykazały, iż harwester może napotkać na trudności w wyróbce i okrzesywaniu sortymentów sosnowych i brzożowych już w drzewostanach III klasy wieku, a szczególnie

w starszych, IV klasy wieku. Mając na uwadze wyniki wyżej wymienionych badań, zdecydowano o przeprowadzeniu analiz efektywności pozyskiwania drewna harwestem w trzebieży wczesnej, w 31-letnim drzewostanie sosnowym. Celem niniejszej pracy było określenie: 1) efektywności wykorzystania pnia na sortymenty przez harwester, oraz 2) jakości sortymentów, tj. dokładności wykonania przerzynki oraz jakości okrzesywania.

2. Materiał i metody

2.1. Teren badań

Badania przeprowadzono w 31-letnim drzewostanie sosnowym, w Nadleśnictwie Bobolice (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Szczecinku, tab. 1).

Do badań wyznaczono powierzchnie próbne wzdłuż ośmiu szlaków operacyjnych. Powierzchnie próbne o wielkości 100 m² każda (10×10 m) były usytuowane po obu stronach szlaku, pięć powierzchni po lewej i pięć po prawej stronie każdego szlaku. Koniec ostatniego metra powierzchni próbnej po lewej stronie był jednocześnie początkiem pierwszego metra powierzchni próbnej po prawej stronie (ryc. 1).

Powierzchniom nadano kolejne numery (łącznie 80 powierzchni), drzewa narożne oznaczono farbą – poziomym paskiem na wysokości wzroku. Drzewa przeznaczone do trzebieży również oznaczono farbą, dwoma ukośnymi paskami na wysokości ok. 1,5 m. Oznaczenie było widoczne z każdego z sąsiadujących szlaków. Na drzewach przeznaczonych do usunięcia pomierzono:

- pierśnice, dwukrotnie na krzyż z dokładnością do 0,1 cm, wynik zaokrąglano do 0,5 cm;
- wysokości drzew wysokościomierzem laserowym HA-GLOF EC II z dokładnością do 0,1 m, wynik zapisywano z dokładnością do 0,1 m.

2.2. Zastosowany harwester

Do przeprowadzenia zabiegu zastosowano harwester trzebieżowy Vimek 404 T5 (ryc. 2) z żurawiem Mowi 2046 o długości 4,6 m (tab. 2). Harwester był wyposażony w głowicę Keto Forst Silver, o maksymalnej średnicy ścinki 30 cm (tab. 2).

Dla harwestera o szerokości 2,15 m przygotowano szlaki o szerokości ok. 3 m poprzez usunięcie jednego rzędu drzew. Szlaki były oddalone od siebie o ok. 19,5 m (odległość mierzona pomiędzy osiami szlaków).

Głowica Keto, pozwalająca na okrzesywanie pni do 25 cm średnicy z prędkością 4 m s⁻¹, była wyposażona w trzy noże okrzesujące (tab. 2).

Z pozyskiwanych drzew wyrabiano dwa rodzaje sortymentów: drewno okrągłe średniowymiarowe S2a oraz małowymiarowe M1. W obu przypadkach oczekiwana długość wynosiła 2,50 m, a akceptowalna dla odbiorcy od 2,50 do 2,57 m. Dla uzyskania oczekiwanej długości, w komputerze harwestera ustawiono długość z nadmiarem 5 cm, tj. 2,55 m z odchyłką ± 0,02 m.

Tabela 1. Charakterystyka drzewostanu; stan na 1 stycznia 2015Table 1. Stand characteristics, as for 1st January 2015

Pododdział Compartment	Powierzchnia [ha] Area [ha]	Budowa pionowa Stand layer	Udział, gatunek Share, species	Wiek [lata] Age [years]	Pierśnica [cm] DBH [cm]	Wysokość [m] Height [m]	Grubizna [m ³ ha ⁻¹] Stock [m ³ ha ⁻¹]
108h	11,27	Drzewostan Main stand	9 So 90% Pine	31	13	11	137
			1 Brz 10% Birch	31	13	12	10
			mjs Św sporadically Spruce	31			
			mjs Md sporadically Larch	31			
		Podszyt Shrub layer	Brz Birch				
			Św Spruce				
			Jał Juniperus				

DBH – diameter at breast height, So – sosna, Brz – brzoza, Św – świerk, Md – modrzew, Jał – jałowiec, mjs – miejscami

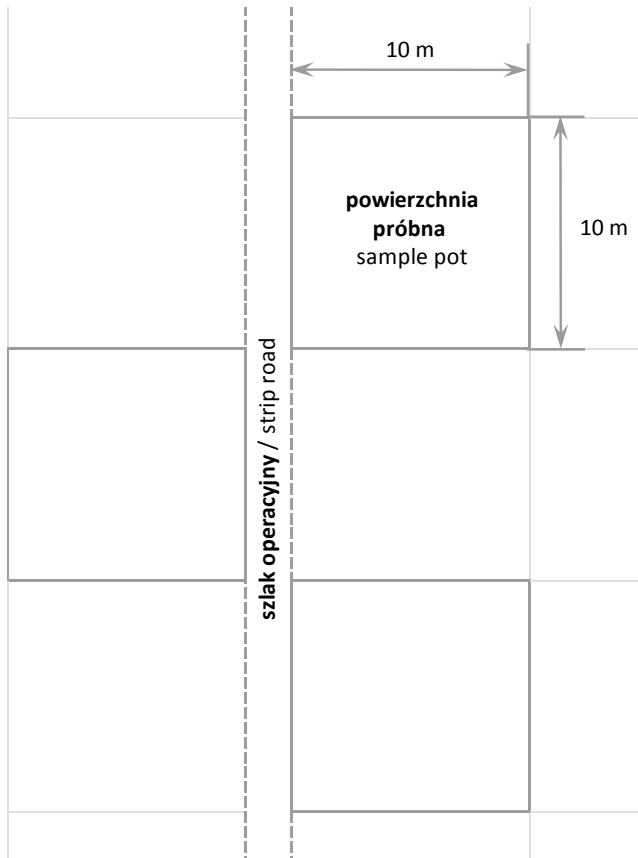
**Rycina 1. Położenie powierzchni próbnych wzdłuż szlaku operacyjnego**

Figure 1. Layout of sample plots along strip road

**Rycina 2. Harvester Vimek 404 T5 podczas wyrabiania sortymentów**

Figure 2. Harvester Vimek 404 T5 during bucking of assortments

2.3. Wykorzystanie pnia na sortymenty

W celu ustalenia stopnia wykorzystania pnia na sortymenty rejestrowano liczbę sztuk wałków wyrabianych z jednego drzewa. Liczba wałków pomnożona przez długość (2,5 m) stanowiła łączną długość sortymentów uzyskanych z jednego drzewa. Ponadto na próbie 70 drzew pomierzono średnice górne bez kory (jednokrotnie w poziomie), ostatnich wałków pozyskanych z najwyższych, wierzchołkowych części drzewa.

Tabela 2. Dane techniczne harwestera Vimek 404 T5 oraz głowicy Keto Forst Silver

Table 2. Technical data of Vimek 404 T5 harvester and harvester head Keto Forst Silver

Harvester Vimek 404 T5 Harvester Vimek 404 T5		Prześwit nad ziemią Clearance		400 mm
Silnik Engine		Masa Weight		4,1 t (z głowicą) 4.1 t with head
Marka, model Make, type	CAT 2.2 (T)	Głowica Keto Forst Silver Harvester head Keto Forst Silver		
Liczba cylindrów Number of cylinders	4	Wysokość bez rotatora Height without rotator	1050 mm	
Maksymalna moc Maximum power	44,7 kW	Wysokość z rotatorem Height with rotator	1250 mm	
Pojemność skokowa Capacity	2216 cm ³	Szerokość (otwarta) Width (opened)	830 mm	
Żuraw Crane		Szerokość (zamknięta) Width (closed)	580 mm	
Marka, model Make, type	Mowi 2046	Waga Weight	297 kg	
Długość Length	4,6 m	Maksymalna średnica ścinki Maximal cutting diameter	300 mm	
Skrzynia biegów Gear box		Maksymalna średnica okrzyszowania Maximal delimiting diameter	250 mm	
Napęd skrzyni biegów Gear box drive	Silnik hydrauliczny Hydraulic engine	Liczba noży okrzyszujących Number of delimiting knives	3	
Układ przeniesienia napędu Gear box transmission	Mechaniczny Mechanical	Maksymalne ciśnienie robocze Maximal working pressure	200 bar	
Układ hydrauliczny Hydraulic system		Optymalny przepływ oleju Optimal oil flow	120 l min ⁻¹	
Ciśnienie Pressure	220 bar	Długość prowadnicy Length of chaisaw bar	14"	
Przepływ Flow	maksymalnie 120 l min⁻¹ 120 l min ⁻¹ maximum	Typ mechanizmu przesuwowego Type of feeding mechanism	rolka gąsienicowa drum with caterpillar	
Wymiary Size		Siła przesuwu Feeding force	10 kN	
Opony Tires	405/70-24	Maksymalna waga drzewa Maximal tree weight	400 kg	
Długość Length	3350 mm	Maksymalna prędkość przesuwu Maximal feeding speed	4 m s ⁻¹	
Szerokość Width	2150 mm			
Wysokość dachu kabiny Height of the cabin roof	2,8 m			

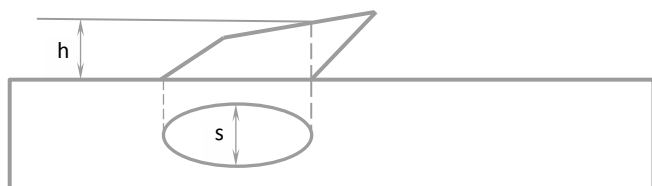
2.4. Dokładność przerzynki

W celu ustalenia dokładności przerzynki pomierzono długość wałków z odziomkowych, środkowych i wierzchoł-

kowych części drzew, po 70 sztuk z każdej strefy. Za wałki środkowe uznawano jeden lub kilka wałków pomiędzy odziomkowym i wierzchołkowym. Długość mierzono z dokładnością do 1 cm.

2.5. Jakość okrzesywania

W celu określenia jakości okrzesywania pomierzono wysokość sęków (h) oraz ich szerokość (s) u podstawy (ryc. 3). Za wysokość przyjęto odległość od pobocznic do najwyższego punktu nad pachwiną sęka. Do pomiaru wysokości nie brano pod uwagę końcowej części sęka, ze względu na to, iż niejednokrotnie była to część długa i bardzo cienka, wprowadzająca niepewność co do właściwej wysokości. Szerokość mierzono u podstawy sęka, prostopadłe do jego osi i osi pnia.



Rycina 3. Miejsca pomiaru sęka: h – wysokość [mm], s – szerokość [mm]

Figure 3. Knot feature measurements: h – height [mm], s – width [mm]

Wysokość i szerokość mierzono z dokładnością do 1 mm. Nie brano pod uwagę sęków o podstawie mniejszej niż 1 cm (w korze). Wszystkie pomierzone sęki zostały podzielone na cztery kategorie wysokości: 1) niskie: 0–10 mm; 2) średnie: 11–30 mm; 3) wysokie: 31–50 mm; 4) bardzo wysokie: > 50 mm.

Sposób pomiaru wysokości sęków po okrzesywaniu nie został opisany w normach. Ze względu na brak jednoznacznych wytycznych jak mierzyć wysokość sęka (np. czy brać pod uwagę cienki pasek drewna i kory w najwyższym miejscu sęka po odciętej gałęzi), na potrzeby niniejszej pracy podjęto

decyzję o pomiarze wysokości sęka jak na rycinie 2. Jednocześnie przyjęto, iż obecnie drewno S2a i M1 spełnia warunek poprawnie przygotowanego przez harwester, jeśli jest okrzesywane odpowiednio w stopniu dobrym i dostatecznym.

W niniejszej pracy mianem sęka określono pozostałość po gałęzi wystającą ponad pobocznice drewna, zgodnie z nazewnictwem użytym w normie (PN-D-95000:2002).

W analizach danych zastosowano statystyki pozycyjne. Zmienność cechy w zależności od badanego czynnika określano współczynnikiem R^2 . Wszystkie wyliczenia wykonano z wykorzystaniem arkuszy kalkulacyjnych Excel.

3. Wyniki

3.1. Wykorzystanie pnia na sortymenty

Pozyskiwane drzewa miały przeciętną pierśnicę 11,6 cm i wysokość 12,0 m, przy czym najgrubsze drzewa miały 25,0 cm (tab. 3). Z jednego drzewa uzyskano średnio od trzech do czterech wałków o łącznej średniej długości 8,45 m.

Długość pozostawionych wierzchołków wyniosła średnio 3,58 m, czyli ok. 30% wysokości drzewa. Łączna długość uzyskanych wałków zależała od pierśnicy drzewa (ryc. 4), ale również od wysokości drzewa (ryc. 5). W drugim przypadku zależność ta była silniejsza ($R^2=0,60$).

Wykorzystanie pnia określono również w postaci średnicy górnej ostatniego wałka uzyskanego z najwyższej części drzewa, która wyniosła średnio 5,3 cm bez kory (tab. 4).

3.2. Dokładność przerzynki

Najwięcej (22%) wałków o długości zadanej w komputerze harwestera (2,55 m) uzyskano ze środkowych partii pnia (ryc. 6).

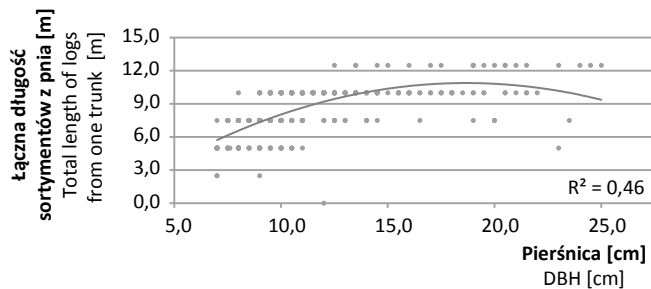
Tabela 3. Parametry pozyskanych drzew i uzyskanych sortymentów; statystyki pozycyjne

Table 3. Parameters of harvested trees and obtained assortments, descriptive statistics

	Pierśnica [cm] DBH [cm]	Wysokość [m] Height [m]	Liczba wałków z pnia Number of logs from one trunk	Łączna długość wałków z pnia [m] Total length of logs from one trunk [m]	Pozostała część wierzchołkowa [m] Remaining tree top [m]
Średnia Mean	11,60	12,00	3,40	8,45	3,58
Mediana Median	10,50	12,10	3,00	7,50	3,50
Minimum Minimum	7,00	5,90	0,00	0,00	0,00
Maksimum Maximum	25,00	17,80	5,00	12,50	8,40
Odchylenie standardowe Standard deviation	3,75	1,89	0,85	2,13	1,38
N	347	347	347	347	347
N					

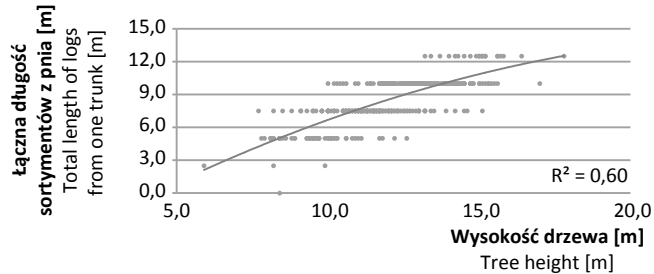
Ogólnie 19% wałków nie spełniało warunku oczekiwanej długości, tj. nie mieściło się w granicach od 2,50 do 2,57 m (ryc. 6). Największy procent wałków o oczekiwanej długości uzyskano ze środkowych partii pni (87%), najmniej z wierzchołkowych (74%). Sortymenty środkowe charakteryzowały się najmniejszą zmiennością długości (odchylenie standardowe 0,05), najbardziej zróżnicowane długości uzyskano z sortymentów wierzchołkowych (odchylenie standardowe 0,11; tab. 4).

Średnia długość wałków środkowych (2,54 m) była najbardziej zbliżona do długości zadanej w komputerze harwestera (2,55 m).



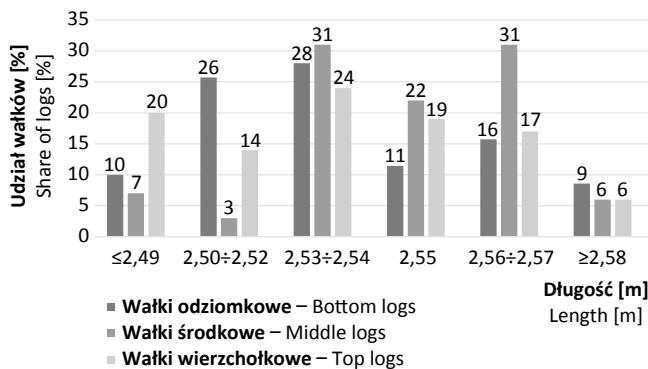
Rycina 4. Zależność łącznej długości wałków od pierśnicy drzewa

Rycina 4. Relationship between total length of logs and DBH



Rycina 5. Zależność łącznej długości wałków od wysokości drzewa

Figure 5. Relationship between total length of logs and tree height



Rycina 6. Histogramy wałków odziomkowych, środkowych i wierzchołkowych

Figure 6. Histograms of lengths of bottom, middle and top logs

3.3. Jakość okrzesywania

Pozyskane sortymenty były ogólnie dobrze okrzysane, a średnia wysokość sęka jedynie na wałkach odziomkowych maksymalnie wyniosła nieco ponad 1 cm (tab. 5).

Najwyższe sęki występowały na wałkach odziomkowych i wierzchołkowych. Na wałkach środkowych obserwowano sęki najniższe, ok. 25% niższe niż na odziomkowych. Ogólnie wysokość sęków w niewielkim stopniu zależała od ich grubości, na co wskazywał niski współczynnik $R^2 = 0,14$. Ponad 70% sęków nie przekroczyło wysokości 10 mm, a sęki średnie stanowiły ok. 25% wszystkich analizowanych pozostałości gałęzi (ryc. 7).

4. Dyskusja

4.1. Wykorzystanie pnia na sortymenty

Wykorzystanie pnia na sortymenty jest bardzo ważnym elementem efektywności zmechanizowanego pozyskiwania drewna. Uzyskanie wydajności gwarantującej korzystny wynik ekonomiczny jest bardzo trudne w drzewostanach młodszych klas wieku (Mederski et al. 2018b), w których

Tabela 4. Parametry wałków odziomkowych, środkowych i wierzchołkowych; statystyki pozycyjne

Table 4. Parameters of bottom, middle and top logs, descriptive statistics

	Wałki odziomkowe Bottom logs		Wałki środkowe Middle logs		Wałki wierzchołkowe Top logs	
	Długość Length [m]	Średnica góra Top diameter [cm]	Długość Length [m]	Średnica góra Top diameter [cm]	Długość Length [m]	Średnica góra Top diameter [cm]
Średnia Mean	2,53	9,57	2,54	8,17	2,50	5,32
Mediana Median	2,53	9,10	2,55	7,60	2,54	4,90
Minimum Minimum	2,15	5,00	2,21	3,90	2,12	2,90
Maksimum Maximum	2,97	21,10	2,60	18,80	2,60	15,40
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,09	3,32	0,05	2,68	0,11	1,78
N	70	70	70	70	70	70
N	70	70	70	70	70	70

Tabela 5. Wymiary sęków z wałków odziomkowych, środkowych i wierzchołkowych; statystyki pozycyjne

Table 5. Parameters of knots from bottom, middle and top logs, descriptive statistics

	Wałki odziomkowe Bottom logs		Wałki środkowe Middle logs		Wałki wierzchołkowe Top logs	
	Szerokość Width [mm]	Wysokość Height [mm]	Szerokość Width [mm]	Wysokość Height [mm]	Szerokość Width [mm]	Wysokość Height [mm]
Średnia Mean	20,41	10,40	19,45	7,53	17,78	9,73
Mediana Median	18,00	5,00	20,00	5,00	15,00	7,00
Minimum Minimum	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00
Maksimum Maximum	99,00	130,00	55,00	60,00	50,00	72,00
Odchylenie standardowe Standard deviation	11,68	15,69	7,63	8,79	7,53	10,19
N	287	287	452	452	459	459

małże zainteresowanie operatorów wyrabianiem sortymentów z najcieńszych partii pnia w trosce o wysoką wydajność. Przy wysokości drzew wynoszącej średnio 12 m, łączna długość pozyskanych sortymentów osiągnęła średnio 8,45 m przy średniej średnicy górnej wynoszącej 5,3 cm bez kory. Jest to średnica zbliżona do minimalnej średnicy górnej dla drewna średniowymiarowego S2a, podanej w normie PN-D-95018:1991 (wycofanej 1 sierpnia 2014 roku), czy zarządzeniach Dyrektora Generalnego LP (Zarządzenia 33 i 34), zakładająca wyrób drewna średniowymiarowego od 5 cm bez kory.

Trudności z pełnym wykorzystaniem grubizny użytkowej zaobserwowano podczas pozyskiwania harwesterem sosny i brzozy (Mederski 2013). Pozyskiwanie harwesterem Sampo Rosenlew z głowicą Keto 150 LD sosny w wieku 46 i 61 lat, kończyło się na średnicy górnej w korze wynoszącej odpowiednio 9,4 i 10,6 cm (wartości średnie). Dla brzozy wartości te były większe i wynosiły odpowiednio 12,3 i 16,2 cm. W każdym z analizowanych przypadków wielkość średnicy górnej korelowała z pierśnicą, przy czym związek ten był najslabszy dla sosny w wieku 46 lat (współczynnik korelacji 0,43). W innych badaniach określających efektywność wykorzystania grubizny dębowej (61 lat) pozyskanej za pomocą harwestera Ponsse Ergo z głowicą H7, średnica górna w korze wyniosła 13,3 cm (wartość średnia), a jej wielkość też była

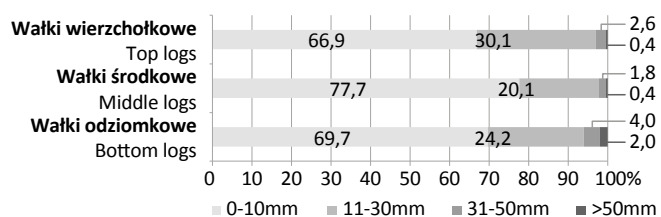
**Rycina 7. Udział sęków z podziałem na wysokości w przyjętym podziale na wałkach z wyróżnionych części drzewa**

Figure 7. Share of knots with different heights on bottom, middle and top logs

związana z pierśnicą (Mederski et al. 2018). W niniejszych badaniach nie określono zależności średnicy górnej od pierśnicy, ponieważ podczas pozyskiwania sortymenty z kilku drzew układane były w jednym pakiecie i trudno było ustalić, z którego drzewa pochodził dany sortyment wierzchołkowy. Jednocześnie parametr średnicy górnej dla sortymentów wierzchołkowych charakteryzował się najmniejszym odchyleniem standardowym (tab. 4), co sugeruje, iż niezależnie od pierśnicy wielkość średnicy górnej była względnie stała. Parametr ten wskazuje, iż Harwester Vimek 404 T5 z głowicą Keto Forst Silver bardzo dobrze radził sobie z wyróbką sortymentów w wierzchołkowych częściach sosny w wieku 31 lat. Czynniki, które miały wpływ na dobre wyniki okrzesywania i dokładności przerzynki, to przede wszystkim cienkie gałęzie (ok. 2 cm, tab. 5) oraz obserwowane podczas badań proste pnie.

4.2. Dokładność przerzynki

Analiza wszystkich wałków wykazała, iż 81% spełniało warunek oczekiwanej długości, od 2,50 do 2,57 m (ryc. 6). Ustalona przez operatora odchyłkę długości ± 2 cm należy uznać za właściwą, dobrze również dobrano nadmiar wynoszący 5 cm. Znaczny był udział wałków o długościach od 2,53 do 2,54 m: odziomkowych 28%, środkowych 31 % i wierzchołkowych 24% (ryc. 6). Wałki odziomkowe i środkowe nie przekraczały długości 2,62 m. Wyjątek stanowił jeden wałek o długości 2,97 m. Długość ta wynikała najprawdopodobniej ze szczególnej sytuacji utrudniającej okrzesywanie, a nie z błędu pomiarowego.

Jeśli chodzi o surowiec M1 zbyt długie wałki powodują jedynie trudności transportowe. W analizowanym przypadku najdłuższe sztuki miały 2,60 m i można je uznać za akceptowalne.

W obu przypadkach, zbyt krótkie wałki S2a jak i M1 stanowią stratę dla odbiorcy drewna przy obliczaniu miąższości. Pomiar i obliczanie miąższości opiera się na standardowej długości – zbyt krótkie wałki obniżają miąższość kupowanego surowca, a ok. 12% wszystkich wałków analizowanej próby to drewno zbyt krótkie. Może to być przedmiotem reklamacji, co zwiększa koszty pozyskiwania i przygotowania surowca do sprzedaży. Niemniej jednak sortymenty drewna średniowymiarowego ogólnego przeznaczenia krótsze niż oczekiwane nie dyskwalifikują go w dalszym przerobieniu. Wałki

te, po przygotowaniu w korowarkach bębnowych, mogą zostać rozdrobnione i skierowane do procesu technologicznego.

Warto również zaznaczyć, iż błędy pomiaru długości przy wyrzynce sortymentów powstają nie tylko przy wyróbce harwesterem, ale również przy przerzynce pilarką. Analiza uzyskanych długości sortymentów liściastych wyrabianych pilarką wykazała, iż przy tolerancji ± 2 cm niezgodność z zadaną długością wystąpiła w 30% przypadków (Zinkevičius et al. 2012).

Zbliżony udział sortymentów odziomkowych i wierzchołkowych odbiegających od zadanego wymiaru stoi w sprzeczności z badaniami Nieuwenhuisa i Dooleya (2006). Cytowani autorzy obserwowali przy wyrabianiu kłód i wałków świerkowych odchyłki na długości od -5% do +7%, podając iż dokładność pomiaru długości jest lepsza dla kłód odziomkowych niż wałków wyrabianych z górnej części strzały. Z kolei brak różnic pomiędzy długościami sortymentów odziomkowych i wierzchołkowych stwierdzili również Mederski i in. (2008), analizując tę cechę na wałkach oraz kłodach osikowych.

Nieuwenhuis i Dooley (2006) jako przyczynę błędów pomiarowych wskazali szczególnie silne ugałżenie świerka powodujące pozostawianie sęków po okrzesywaniu oraz krzywizny pojawiające się w wierzchołkowej części strzały. O ile w niniejszych badaniach nad 31-letnią sosną występowanie sortymentów odbiegających od oczekiwanych w strefie wierzchołkowej można wytłumaczyć podobnymi przyczynami, czyli błędami występującymi z powodu ugałżenia, o tyle przyczyny niskiej dokładności w strefie odziomkowej nie są jednoznaczne.

Badania Bembenka i in. (2014) nad dokładnością wyrabiania sortymentów brzozowych i osikowych potwierdziły, iż grubsze sortymenty (powyżej 14 cm w górnym końcu bez kory) miały dokładniejszą długość w porównaniu z cieńszymi (poniżej 14 cm w górnym końcu bez kory).

W pracy Bembenka i in. (2014) maksymalna średnica górna wałków nie przekraczała 21 cm bez kory, a średnie wahały się od 5,3 cm (wałki wierzchołkowe) do 9,5 cm (wałki odziomkowe). Należy pamiętać, iż na dokładność wyróbki wpływa również dopasowanie głowicy do parametrów ścinanego drzewa oraz technika pracy, która wpływa na dokładność pomiaru długości poprzez działanie koła pomiarowego.

4.3. Jakość okrzesywania

Zgodnie z normami (PN-D-95018:1991 oraz PN-D-95019:1991) drewno S2a i M1 powinno być okrzesane odpowiednio w stopniu bardzo dobrym i dostatecznym. Jakość okrzesywania bardzo dobra oznacza, iż gałęzie powinny być usunięte równo z poboczną drewna. Jakość dostateczna oznacza, iż mogą pozostać sęki do 5 cm długości, sporadycznie dłuższe. Jednocześnie obowiązujące zarządzenia (Zarządzenie 2012a, b) określają, iż drewno S2 pozyskiwane harwesterem może być okrzesywane w stopniu dobrym (dopuszczalne sęki o długości do 3 cm, sporadycznie dłuższe). Większy udział wyższych (do 30 mm) sęków w sortymen-

tach wierzchołkowych wynikał z trudności w okrzesywaniu elastycznych gałęzi z wierzchołkowej części pnia. Jednocześnie na sortymentach odziomkowych występowały najczęściej najwyższe sęki (powyżej 30 mm), ponieważ w dolnej części pnia występowały najgrubsze gałęzie (tab. 5).

Drewno S2a uzyskane z części odziomkowych i/lub częściowo ze środkowych części pnia posiadało sęki do 3 cm w ilości 95% (odziomkowe) i 98% (środkowe) (ryc. 7). Jeśli przyjąć pozostałe 2 do 5% jako sporadyczne występowanie – uzyskane sortymenty spełniały wymagania obowiązujących przepisów (choć należy mieć na uwadze, iż norma PN-D-95000:2002 opisuje długość, nie wysokość sęków). Sortymenty wierzchołkowe w zdecydowanej większości stanowiły sortyment M1, w którym dopuszcza się sęki do 5 cm długości. W niniejszym badaniu wśród sortymentów wierzchołkowych ponad 99% sęków nie przekraczało 5 cm wysokości.

Zwykle wysokość sęków po okrzesywaniu zależy od grubości gałęzi, ale również od gatunku. Z badań Mederskiego (2013) wynika, iż na sortymentach ze starszych drzew sosnowych i brzozowych (IV klasa wieku) wysokość sęków po okrzesywaniu była większa niż na sortymentach z młodszych drzew (III klasa wieku). Jednocześnie u brzozy wskazane różnice były większe.

5. Wnioski

Wykorzystanie pnia na sortymenty w trakcie wyróbki przez harwester Vimek 404 T5 z głowicą Keto Forst Silver okazało się bardzo efektywne, zarówno w ramach grubizny (surowiec S2a), jak również w grupie drewna małowymiarowego M1. Przeciętnie wykorzystano ok. 70% wysokości drzewa, a średnia średnica górna bez kory wyniosła 5,3 cm. Jednocześnie wyrabiano sortymenty, których najmniejsza średnica górna bez kory wyniosła 2,9 cm, co potwierdza możliwość skutecznego wyrabiania przez harwester Vimek 404 T5 sortymentów małowymiarowych M1 w drzewostanach sosnowych II klasy wieku.

Zdecydowana większość (81%) wszystkich wałków miała oczekiwaną długość. Największa liczba wałków zbyt krótkich wśród sortymentów wierzchołkowych sugeruje, iż należy zweryfikować potrzebę wyrabiania sortymentów M1, z jednoczesnym przeznaczeniem całych ugałżonych części wierzchołkowych do zrębkowania.

Jakość okrzesywania była zbliżona we wszystkich fragmentach pnia. Największy udział najniższych sęków wystąpił na sortymentach wyrabianych ze środkowych części pnia. Jednocześnie największy odsetek najwyższych sęków obserwowano na sortymentach odziomkowych, choć podobne wysokości wystąpiły na wałkach wierzchołkowych. Ogólnie jakość okrzesywania była zgodna z obowiązującymi regulacjami stosowanymi w Lasach Państwowych.

Zastosowanie harwestera Vimek 404 T5 z głowicą Keto Forst Silver w 31-letnim drzewostanie sosnowym pozwoliło na pełne wykorzystanie pnia na sortymenty, z jednoczesnym uzyskaniem satysfakcjonujących parametrów długości i jakości okrzesywania.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

Źródło finansowania badań i podziękowania

Badania przedstawione w niniejszej pracy były częściowo sfinansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach wsparcia Potencjału Badawczego dla Katedry Użytkowania Lasu na rok 2015. Autorzy składają podziękowania Recenzentom za wnikliwe uwagi, dzięki którym powstała ostateczna wersja niniejszego artykułu.

Literatura

- Bembenek M., Mederski P. S., Karaszewski Z., Łacka A., Grzywnski W., Wegiel A., Erler J. 2015. Length accuracy of logs from birch and aspen harvested in thinning operations. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39: 845–850. DOI 10.3906/tar-1406-39.
- Karaszewski Z., Bembenek M., Mederski P.S., Rosińska M., Tsioras P.A. 2017. Bucking accuracy of alder and oak harvested in coppice stands during and after growing season. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology* 100: 66–71.
- Karaszewski Z., Łacka A., Bembenek M., Mederski P.S., 2016a. Rozmiar uszkodzeń i strat olszowego drewna łuszczarskiego pozyskanego harvesterem Valmet 911.4 z głowicą 360.2. *Sylwan* 160(12): 1002–1009. DOI 10.26202/sylwan.2016060.
- Karaszewski Z., Mederski P.S., Noskowiak A., Rosińska M., Łacka A., Bembenek M. 2016b. Delimiting quality and bucking accuracy of alder, pine and spruce logs harvested by Valmet 911.4. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology* 95: 56–61.
- Kusiak W., Śliwiński K. 2014. Ocena jakości wyrabianych sortymentów drzewnych w technologii ręczno-maszynowej i maszynowej. *Studia i materiały CEPL w Rogowie* 39: 67–76.
- Leśnictwo 2014. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Mederski P.S. 2013. Możliwości zastosowania harwestera do pozyskiwania drewna w mieszanych drzewostanach brzoźowo-sosnowych. Wydawnictwo UP w Poznaniu, 109 s. ISBN 978-83-7160-707-5.
- Mederski P.S., Bembenek M., Karaszewski Z., Pilarek Z., Łacka A. 2018a. Investigation of Log Length Accuracy and Harvester Efficiency in Processing of Oak Trees. *Croatian Journal of Forest Engineering* 39(2): 173–181.
- Mederski P.S., Karaszewski Z., Rosińska M., Bembenek M. 2016. Dynamika zmian liczby harvesterów w Polsce oraz czynniki determinujące ich występowanie. *Sylwan* 160(10): 795–804. DOI 10.26202/sylwan.2016030.
- Mederski P.S., Venanzi R., Bembenek M., Karaszewski Z., Rosińska M., Pilarek Z., Luchenti I., Surus M. 2018b. Designing Thinning Operations in 2nd Age Class Pine Stands – Economic and Environmental Implications. *Forests* 9(6): 335. DOI 10.3390/f9060335.
- Moskalik T., Borz S.A., Dvořák J., Ferencik M., Glushkov S., Mušiste P., Lazdiňš A., Styranivsky O. 2017. Timber harvesting methods in Eastern European countries: A review. *Croatian Journal of Forest Engineering* 38(2): 231–241.
- Nieuwenhuis M., Dooley T. 2006. The effect of calibration on the accuracy of harvester measurements. *International Journal of Forest Engineering* 17(2): 25–33.
- PN-D-95018:1991. 1991. Surowiec drzewny. Drewno średniowymiarowe. Wspólne wymagania i badania. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-D-95019:1991. 1991. Surowiec drzewny. Drewno małowymiarowe. Wspólne wymagania i badania. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-D-95000:2002. 2002. Surowiec drzewny – Pomiar, obliczanie miąższości i cechowanie. Polski Komitet Normalizacyjny.
- Róžański H. 1993. Wydajność i dokładność wyróbki drewna harvesterem wysięgnikowym Lokomo FMG 990/756. *Przegląd Technik Rolniczej i Leśnej* 10: 18–19.
- Stańczykiewicz A., Sowa J.M., Leszczyński K., Kulak D., Szewczyk G. 2015. Uszkodzenia drzew i odnowienia w wyniku pozyskania drewna z użyciem urządzeń agregowanych z ciągnikami rolniczymi w trzebieżowych drzewostanach świerkowych. *Sylwan* 159(3):201–210, 2015. DOI 10.26202/sylwan.2014070.
- Stańczykiewicz A., Sowa J.M., Szewczyk G. 2011. Uszkodzenia drzew i odnowienia w wyniku ręczno-maszynowego pozyskania drewna z wykorzystaniem urządzeń agregowanych z ciągnikami rolniczymi. *Sylwan* 155(2): 129–137. DOI 10.26202/sylwan.2009233.
- Zarządzenie 2012a. Zarządzenie nr 33 Dyrektora generalnego Lasów Państwowych z dnia 17 kwietnia 2012 roku w sprawie wprowadzenia Ramowych warunków technicznych na drewno średniowymiarowe ogólnego przeznaczenia – S2AP.
- Zarządzenie 2012b. Zarządzenie nr 34 Dyrektora generalnego Lasów Państwowych z dnia 17 kwietnia 2012 roku w sprawie wprowadzenia Ramowych warunków technicznych na drewno średniowymiarowe użytkowe – S2B.
- Zinkevičius R., Steponavičius D., Vitunskas D., Činga G. 2012. Comparison of harvester and motor-manual logging in intermediate cuttings of deciduous stands. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 36: 591–600. DOI 10.3906/tar-1103-46.
- Żabierek R., Wojtkowiak R. 2013. Liczba harvesterów i forwarde-
rów w Polsce. *Drwal* 9: 22–23.

Wkład autorów

PSM, MB, ZK – koncepcja badań i struktura artykułu naukowego; PSM, KW – analiza statystyczna; PSM, ZK, MB – przegląd literatury; PSM, KW, MB, ZK, MB, KN – napisanie pracy, weryfikacja wyników i korekta.