

WŁODZIMIERZ STEMPSKI, KRZYSZTOF JABŁOŃSKI

Katedra Techniki Leśnej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

EFEKTYWNOŚĆ MASZYNOWEGO POZYSKIWIANIA DREWNA Z DRZEWOSTANU USZKODZONEGO PRZEZ WIATR

EFFECTIVENESS OF MECHANIZED WOOD HARVESTING IN A TREE STAND
DAMAGED BY WIND

Streszczenie. W pracy dokonano oceny podstawowych wskaźników efektywności wyróbki i zrywki drewna z 28-letniego drzewostanu sosnowego, w którym szkody od wiatru miały charakter powierzchniowy. Ocenę tę przeprowadzono w stosunku do czasu operacyjnego. W zastosowanym wariantcie technologicznym pozostałości zrębowe harwester przygotowywał do zrywki, koncentrując je w wałach wzdłuż sortymentów drzewnych. W badaniach stwierdzono bardzo zbliżone udziały czasów czynności wyróbki sortymentów drzewnych i przygotowania pozostałości zrębowych. Wydajność pracy harwestera przy wyróbce sortymentów drzewnych wyniosła 8,85 m³/h, a podczas koncentrowania pozostałości zrębowych 3,29 m³/h. Wydajność zrywki sortymentów drzewnych, na odległość 150–200 m wyniosła 18,75 m³/h, a pozostałości zrębowych 6,86 m³/h.

Słowa kluczowe: szkody od wiatru, harwester, forwarder

Wstęp

Jednym z efektów dokonujących się zmian klimatycznych jest częstsze występowanie gwałtownych zjawisk atmosferycznych, których negatywne oddziaływanie dotyczy także lasu. Należą do nich huraganowe wiatry, które regularnie wyrządzają szkody w polskich lasach, szczególnie w rejonach północno-wschodnich i południowych. W Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe corocznie są odnotowywane szkody od wiatru na kilkudziesięciu tysiącach hektarów. W latach 2006–2012, z wyłączeniem roku 2007, było to średnio około 40 tys. ha rocznie (Raport..., 2007, 2009,

2010, 2011, 2012, 2013). W roku 2007, w efekcie przejścia huraganu Cyryl, zniszczeniu uległ las na wyjątkowo dużej powierzchni – 273 tys. ha (Raport..., 2008).

Uszkodzone od wiatru drzewa mogą występować pojedynczo, grupowo bądź powierzchniowo. Z punktu widzenia możliwości pozyskania drewna największe trudności występują w przypadku szkód powierzchniowych. Dalsze utrudnienia wynikają ze zróżnicowania uszkodzeń, np. złomy, wywroty (Suwała, 2000). Uszkodzenia o charakterze powierzchniowym charakteryzują się znaczną koncentracją surowca drzewnego, który należy w możliwie krótkim czasie uprzątnąć. Wywrócone i połamane drzewa są często spiętrzone i pokrzyżowane, co stwarza duże zagrożenie dla ludzi zaangażowanych w porządkowanie powierzchni. Wszystko to utrudnia opracowanie bądź wybór procesów technologicznych pozyskiwania i zrywki drewna (Puchniarski, 2003).

Zmienione i mocno zróżnicowane warunki w drzewostanach uszkodzonych przez wiatr wymagają szczególnego traktowania, przy czym, jak zauważa Suwała (2000), nie ma dla takich warunków specjalnych technologii czy też maszyn. Nie oznacza to jednak pełnej dowolności w postępowaniu przy usuwaniu skutków huraganu, bowiem sytuacja kłęskowa zawsze wymaga szczegółowej analizy i opracowania planu działania (Suwała, 2000, 2004). Zgodnie z zapisami zawartymi w „Instrukcji bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu podstawowych prac z zakresu gospodarki leśnej” (Instrukcja..., 2012) pozyskiwanie drewna ze złomów i wywrotów może się odbywać zarówno technologiami ręczno-maszynowymi, jak i z wykorzystaniem harwesterów. Biorąc pod uwagę szereg niebezpieczeństw, na jakie narażeni są robotnicy pozyskujący drewno pilarkami w takich warunkach, technologie maszynowe powinny być preferowane. W Polsce maszyny wielooperacyjne do pozyskania drewna z drzew uszkodzonych przez wiatr zaczęto wykorzystywać dopiero na początku obecnego stulecia (Puszczka Piska – 2002 r.). Mamy jednak skąd czerpać wiedzę na ten temat, bowiem np. w Niemczech procesory i harwestery do likwidacji skutków huraganowych wiatrów stosowano na szeroką skalę już ćwierć wieku temu (Bort i in., 1990; Duffner, 1991; Teuffel i Hall, 1990).

Podczas pozyskiwania drewna z drzewostanu uszkodzonego przez wiatr powstaje więcej pozostałości zrębowych niż ma to miejsce w warunkach planowych cięć. Surowiec ten, z uwagi na zwiększony udział grubszego drewna, stanowi cenne źródło energii odnawialnej. Zrębkowanie takiej biomasy może się odbywać bezpośrednio na zrębie bądź przy drodze wywozowej po uprzedniej zrywce. Zarówno w jednym, jak i w drugim przypadku biomasa powinna być uprzednio skoncentrowana na powierzchni cięć.

Celem badań była ocena efektywności pracy harwestera i forwardera podczas pozyskiwania drewna z wiatrolomów i wiatrowałów. W badaniach zastosowano wariant technologiczny z przygotowaniem pozostałości zrębowych do zrywki przez harwester.

Teren i metody badań

Badania przeprowadzono na terenie Nadleśnictwa Łopuchówko (RDLP Poznań), w wydzieleniu 183a, w którym znajdował się 28-letni drzewostan o charakterystyce przedstawionej w tabeli 1. Drzewostan ten w znacznej części został uszkodzony przez huragan w lipcu 2012 roku. Szkody wyrządzone przez wiatr miały charakter uszkodzeń powierzchniowych.

Tabela 1. Podstawowe charakterystyki drzewostanu
Table 1. Basic characteristics of the stand

Udział gatunków Species composition	5So (Pine) – 3Db (Oak) – 1Św (Spruce) – 1Brz (Birch)
Przeciętna pierśnica (cm) Average breast height diameter (cm)	13 – 9 – 9 – 13
Przeciętna wysokość (m) Average height (m)	14 – 11 – 8 – 15
Bonitacja Stand quality	IA – II – II – I
Zwarcie Closure	Umiarkowane Moderate
Zadrzewienie Stocking	0,8
Grubizna (m ³ /ha) Large timber (m ³ /ha)	79 – 16 – 6 – 14

Przy usuwaniu szkód w wymienionym drzewostanie uczestniczył harwester John Deere 1070D Eco III oraz forwarder John Deere 1210E. Praca harwestera polegała na wykonaniu dwóch grup czynności. Pierwsza obejmowała wyrabianie sortymentów drzewnych w postaci surowca S2a i S4 o długości 2,4 m, druga – polegała na koncentrowaniu pozostałości zrębowych. Czynności te harwester wykonywał na pasach o szerokości do 10 m podczas przejazdu tylko w jedną stronę, po czym wracał na początek i rozpoczynał pracę na kolejnym pasie. Pozostałości zrębowe operator harwestera układał obok sortymentów drzewnych w wałach biegnących wzdłuż trasy przejazdu maszyny (rys. 1). Dzięki takiemu postępowaniu powierzchnia po zrywce drewna i pozostałości zrębowych nie wymagała żadnych dodatkowych zabiegów warunkujących późniejsze przygotowanie gleby i odnowienie.



Rys. 1. Efekt pracy harwestera (fot. P. Dolata)
Fig. 1. Effects of a harvester's work (photo by P. Dolata)

Prace terenowe wykonano na powierzchni 0,8 ha. Polegały one na pomiarze czasów trwania wyróbki i zrywki sortymentów drzewnych oraz przygotowania i zrywki pozostałości zrębowych.

W przypadku harwestera pomiarami objęto trzy czynności: wyróbkę sortymentów drzewnych, przygotowanie pozostałości zrębowych i przejazdu maszyny z końca jednego pasa na początek następnego.

Wyróbka sortymentów drzewnych obejmowała ścinę złomów, drzew mocno pochylonych i nielicznych drzew nieuszkodzonych, odcięcie karpki w przypadku wiatrowałów, okrzesywanie, manipulację i przerzynkę. Czas tych czynności mierzono łącznie, ponieważ z uwagi na brak powtarzalności w kolejności ich występowania ich oddzielna rejestracja była utrudniona. Przygotowanie pozostałości zrębowych polegało głównie na ich koncentrowaniu po wyróbce pełnowartościowego drewna.

W przypadku zrywki sortymentów drzewnych i pozostałości zrębowych forwarderem pomiarami objęto czasy trwania czterech faz tej zrywki, tj. jazdy pustej, załadunku, jazdy ładunkowej i rozładunku.

Czasy mierzono stoperem z dokładnością do 1 s metodą chronometrażu ciągłego. W ramach prac terenowych dokonano odczytów miąższości wyrobionych sortymentów drzewnych z pamięci komputera harwestera oraz, na podstawie wymiarów przestrzeni ładunkowej pojazdu wywozowego, określono liczbę metrów przestrzennych zrębków energetycznych pozyskanych z pozostałości zrębowych skoncentrowanych przez harwester i zerwanych przez forwarder.

W ramach prac kameralnych, dla czynności związanych z wyróbką drewna średniowymiarowego i przygotowaniem pozostałości zrębowych, obliczono średni czas trwania pojedynczej czynności, czasochłonność i wydajność w czasie operacyjnym oraz określono strukturę czasu pracy harwestera. Wobec braku możliwości odniesienia czasów wyróbki sortymentów drzewnych i przygotowania pozostałości zrębowych do łącznego czasu tych czynności zużytego np. na jedno drzewo, sumaryczne czasy tych czynności podzielono na półgodzinne cykle pracy. Pozwoliło to na analizę także udziałów czasów czynności wyróbki drewna średniowymiarowego i przygotowania pozostałości zrębowych.

W przypadku zrywki sortymentów drzewnych i pozostałości zrębowych forwarderem obliczono:

- średnie czasy cyklu zrywki i jego poszczególnych faz,
- czasochłonność, wydajność,
- średnie udziały czasów faz zrywki drewna i pozostałości zrębowych.

Dla czasów czynności pozyskania sortymentów drzewnych, przygotowania pozostałości zrębowych oraz czasów trwania poszczególnych faz zrywki obliczono podstawowe statystyki pozycyjne. Zbadano także istotność różnic między czasami trwania czynności wyróbki sortymentów drzewnych i przygotowania pozostałości zrębowych (zarówno pojedynczych, jak i w półgodzinnych cyklach pracy harwestera) oraz między czasami faz zrywki drewna i pozostałości zrębowych. Obliczenia statystyczne wykonano w programie Statistica v. 10.

Czasochłonność obliczono, dzieląc czas przez efekt wykonanej pracy w postaci metrów sześciennych pozyskanego bądź zerwanego drewna oraz w postaci metrów sześciennych skoncentrowanych bądź zerwanych pozostałości zrębowych. Metry sześcienn-

ne pozostałości zrębowych uzyskano dzięki wykorzystaniu współczynnika zamiennego 0,25 (z metrów przestrzennych zrębków z pomiaru na pojeździe wywozowym). Wydajność operacyjną obliczono przez podzielenie czasu zmiany roboczej (480 min) przez czasochłonność w czasie operacyjnym.

Wyniki

Mimo że średnie czasy czynności wyróbki drewna średniowymiarowego i przygotowania pozostałości zrębowych miały zbliżone wartości (odpowiednio 24,3 s i 23,5 s), to pochodziły ze zbiorów o różnych rozkładach. W przypadku wyróbki drewna był to rozkład zbliżony do normalnego, dla którego mediana miała wartość podobną do średniej (23 s) z identyczną wartością najczęściej występującego rezultatu (wartości modalnej). Dla czasów czynności przygotowania pozostałości zrębowych do zrywki mediana wyniosła 8 s, a wartość modalna 4 s (tab. 2). Zarówno w odniesieniu do czynności wyróbki drewna, jak i przygotowania pozostałości zrębowych stwierdzono dużą zmienność wyników czasów ich trwania, przy czym zdecydowanie większym zróżnicowaniem, bardzo dużym (współczynnik zmienności wyniósł 136%), cechowały się czasy czynności przygotowania pozostałości zrębowych. Z uwagi na brak zgodności rozkładu czasów tych czynności z rozkładem normalnym do oceny istotności różnic między czasami wyróbki drewna i przygotowania pozostałości zrębowych zastosowano test U Manna-Whitneya. Rezultaty tego testu wykazały statystycznie istotne zróżnicowanie czasów trwania tych dwóch grup czynności ($Z = 12,5407$; $p = 0,0000$).

Zgodnie z założeniami metodycznymi łączne czasy czynności wyróbki drewna średniowymiarowego i przygotowania pozostałości zrębowych podzielono na półgodzinne

Tabela 2. Podstawowe charakterystyki statystyczne czasów czynności wykonywanych przez harwester

Table 2. Basic statistical characteristics of operation times performed by a harvester

Charakterystyka Characteristics	Wyróbka drewna Wood processing	Przygotowanie pozostałości Preparing of logging residues
Średnia (s) Average (s)	24,3	23,5
Mediana (s) Median (s)	23,0	8,0
Wartość modalna (s) Modal value (s)	23,0	4,0
Dolny kwartył (s) Lower quartile (s)	17,0	4,0
Górny kwartył (s) Upper quartile (s)	28,0	32,0
Współczynnik zmienności (%) Coefficient of variability (%)	53,5	136,0

cykle. Podstawowe statystyki pozycyjne dla tych czasów zawarto w tabeli 3. Dane tej tabeli wskazują, że w przeciwieństwie do średnich czasów pojedynczych obserwacji czasy tych czynności w półgodzinnych cyklach były zbliżone. Podobna sytuacja dotyczyła udziałów tych czasów, i zarówno w odniesieniu do czasów, jak i udziałów, analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic między wyróbką sortymentów i przygotowaniem pozostałości zrębowych (testy t Studenta z wynikami: $t = 0,2941$ i $p = 0,7699$ dla czasów oraz $t = 0,3287$ i $p = 0,7438$ dla udziałów czasów).

Tabela 3. Podstawowe charakterystyki statystyczne czasów czynności wykonywanych przez harwester i ich udziałów w półgodzinnych cyklach pracy

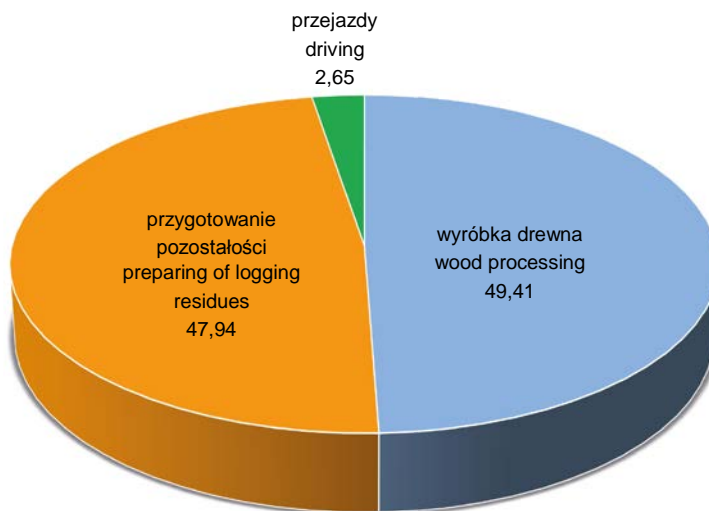
Table 3. Basic statistical characteristics of operation times performed by a harvester and their shares in 30-minute work cycles

Charakterystyka Characteristics	Wyróbka drewna Wood processing (s)	Przygotowanie pozostałości Preparing of logging residues (s)	Wyróbka drewna Wood processing (%)	Przygotowanie pozostałości Preparing of logging residues (%)
Średnia Average	908,1	893,2	50,5	49,5
Minimum Minimum	572	558	31,8	31,7
Maksimum Maximum	1 240	1 227	68,3	68,2
Współczynnik zmienności Coefficient of variability	19,3	20,5	19,6	19,9

Czasochłonność wyróbki 1 m³ drewna średniowymiarowego wyniosła 6,8 min, a przygotowania 1 m³ pozostałości zrębowych – 18,3 min. Wyliczone na podstawie tych czasochłonności wydajności operacyjne pracy harwestera wyniosły 8,85 m³/h dla wyróbki sortymentów drzewnych i 3,29 m³/h dla przygotowania pozostałości zrębowych.

Praca harwestera charakteryzowała się zbliżonymi udziałami czasów czynności wyróbki drewna i przygotowania pozostałości zrębowych, przy nieco krótszym czasie czynności koncentrowania pozostałości. Przejazdy harwestera z końca jednego pasa na początek kolejnego zajęły niecałe 3% czasu operacyjnego (rys. 2).

Średni czas trwania cyklu zrywkowego drewna średniowymiarowego wynosił 46,8 min, a pozostałości zrębowych nie przekroczył 30 min (28,9 min). Analiza wyników czasów zrywki wykazała, że dłuższe czasy w przypadku drewna średniowymiarowego dotyczyły wszystkich faz tej zrywki. Najdłuższy średni czas, zarówno w odniesieniu do drewna, jak i pozostałości zrębowych, stwierdzono dla załadunku – dla drewna średniowymiarowego wyniósł on prawie 20 min, a dla pozostałości zrębowych około 14 min (tab. 4). Zmienność wyników czasów trwania faz zrywki, zarówno sortymentów drzewnych, jak i pozostałości zrębowych, była generalnie mała, z wyjątkiem załadunku pozostałości, dla którego stwierdzono zmienność nieistotną (V% poniżej 10%). Analiza statystyczna wyników czasów zrywki wykazała istotnie dłuższe czasy załadunku, jazdy



Rys. 2. Struktura operacyjnego czasu pracy harwestera (%)
Fig. 2. Harvester operational work time structure (%)

Tabela 4. Podstawowe charakterystyki statystyczne czasów faz zrywki
Table 4. Basic statistical characteristics of times of elements in forwarding

Charakterystyka Characteristics	Jazda pusta Travel empty	Załadunek Loading	Jazda ładowna Travel loaded	Rozładunek Unloading
Średnia dla drewna (s) Average for timber (s)	304	1 199	382	911
Średnia dla pozostałości (s) Average for logging residues (s)	272	848	288	266
Minimum dla drewna (s) Minimum for timber (s)	240	978	302	780
Minimum dla pozostałości (s) Minimum for logging residues (s)	234	717	228	190
Maksimum dla drewna (s) Maximum for timber (s)	350	1 663	475	1 205
Maksimum dla pozostałości (s) Maximum for logging residues (s)	340	1 178	315	349
Współczynnik zmienności dla drewna (%) Coefficient of variability for timber (%)	11,8	14,4	11,5	13,0
Współczynnik zmienności dla pozostałości (%) Coefficient of variability for logging residues (%)	11,8	15,7	9,4	17,0

ładownej i rozładunku drewna w stosunku do pozostałości zrębowych (testy U Manna-Whitneya ze statystykami Z dla załadunku – 5,1029, jazdy ładownej – 5,8306 i rozładunku – 6,0537 oraz wartościami $p = 0,0000$ dla wszystkich wyżej wymienionych faz zrywki).

Czasochłonność zrywki sortymentów drzewnych wyniosła $3,20 \text{ min/m}^3$, a pozostałości zrębowych – $8,74 \text{ min/m}^3$. Wyliczone na podstawie tych czasochłonności wydajności zrywki wyniosły: $18,75 \text{ m}^3/\text{h}$ dla sortymentów drzewnych i $6,86 \text{ m}^3/\text{h}$ dla pozostałości zrębowych.

O ile średnie czasy trwania poszczególnych faz zrywki nasiębniernej były dłuższe w przypadku drewna, o tyle ich udziały w czasie całego cyklu zrywkowego były dla jazdy pustej, ładownej i załadunku mniejsze niż w przypadku pozostałości zrębowych (tab. 5). Zdecydowanie największym udziałem czasu podczas zrywki zarówno drewna, jak i pozostałości zrębowych cechował się załadunek (w przypadku pozostałości – ponad 50% czasu całego cyklu zrywkowego). Czasy pozostałych faz zrywki pozostałości zrębowych cechowały się bardzo zbliżonymi udziałami, mieszczącymi się w zakresie 15–17%. Większe zróżnicowanie wyników udziałów czasów poszczególnych faz zrywki stwierdzono dla drewna średniowymiarowego. W przypadku tej zrywki najmniej czasu zajmował przejazd maszyny bez ładunku, niewiele więcej jazda ładowna, natomiast udział czasu rozładunku drewna był ponad dwukrotnie większy od udziału czasu rozładunku pozostałości zrębowych. Udziały czasów poszczególnych faz zrywki cechowały się w większości przypadków małą zmiennością. Zmienność nieistotną stwierdzono dla załadunku drewna i pozostałości oraz dla rozładunku drewna (tab. 5). Analiza

Tabela 5. Podstawowe charakterystyki statystyczne udziałów czasów faz zrywki (%)

Table 5. Basic statistical characteristics of shares of times of elements in forwarding (%)

Charakterystyka Characteristics	Jazda pusta Travel empty	Załadunek Loading	Jazda ładowna Travel loaded	Rozładunek Unloading
Średnia dla drewna Average for timber	10,25	42,49	13,69	33,58
Średnia dla pozostałości Average for logging residues	16,71	51,39	16,61	15,29
Minimum dla drewna Minimum for timber	7,9	37,6	10,8	26,6
Minimum dla pozostałości Minimum for logging residues	11,8	44,9	11,7	11,4
Maksimum dla drewna Maximum for timber	13,4	48,5	18,4	39,9
Maksimum dla pozostałości Maximum for logging residues	21,6	60,4	19,8	20,2
Współczynnik zmienności dla drewna Coefficient of variability for timber	12,1	7,7	13,5	9,2
Współczynnik zmienności dla pozostałości Coefficient of variability for logging residues	15,1	8,8	11,5	14,5

statystyczna różnica między udziałami czasów trwania poszczególnych faz zrywki drewna i pozostałości zrębowych wykazała istotne różnice dla wszystkich faz zrywki (testy t Studenta ze statystykami t dla jazdy pustej, załadunku, jazdy ładownej i rozładunku odpowiednio: $-11,4769$, $-7,9759$, $-5,4931$ i $24,0011$ oraz wartościami $p = 0,0000$ dla wszystkich faz zrywki).

Dyskusja

Charakterystyczną cechą zastosowanej w badaniach technologii było koncentrowanie przez harwester pozostałości zrębowych w regularne wały obok pakietów drewna średniowymiarowego. Spowodowało to zredukowanie udziału czasu czynności związanych z wyróbką sortymentów do poziomu około 50% czasu operacyjnego. W stosowanych najczęściej w praktyce rozwiązaniach nie stosuje się tak daleko idącego koncentrowania pozostałości zrębowych. Z uwagi na specyficzne warunki struktura czasu pracy w drzewostanach pokłeskowych jest inna niż podczas wykonywania cięć planowych. W odniesieniu do pozyskiwania ręczno-maszynowego badania Jakubowskiego i in. (2005) w drzewostanach z wiatrołomami i wiatrowałami oraz Sowy i in. (2009) w drzewostanach ze śniegołomami wykazały duży udział czasu okrzesywania drzew. Sowa i in. (2009) wskazywali także na dużo większy niż w planowych cięciach udział czasów pomocniczych podczas usuwania skutków śniegołomów, a w szczególności czasów przejść. Duży udział czasów przejść w drzewostanach uszkodzonych przez czynniki atmosferyczne wynika m.in. z konieczności zachowania daleko idącej ostrożności, która wymusza dokładną ocenę sytuacji pod kątem zagrożeń i ich likwidacji (naprężenia, rozciąganie drzew, itp.) (Muszyński i Muszyński, 1999). W przypadku zastosowania maszyn wielooperacyjnych do pozyskiwania drewna w takich warunkach czynności te są prostsze, a bezpieczeństwo operatora jest na dużo wyższym poziomie niż przy zastosowaniu pilarki (Brzózko, 2009).

Stwierdzony w badaniach duży udział czasu czynności związanych z koncentrowaniem pozostałości zrębowych miał wpływ na wydajność pracy harwestera podczas wyróbki sortymentów drewnych, która wyniosła prawie $9 \text{ m}^3/\text{h}$. Trudno wprawdzie porównywać wynik pracy maszyny w warunkach, w których są usuwane wszystkie drzewa, z warunkami pracy w trzebieży, ale warto zauważyć, że uzyskana w pracy wydajność jest zbliżona do podawanej w literaturze wydajności pozyskiwania drewna podczas realizacji trzebieży wczesnych w drzewostanach w podobnym wieku (Jodłowski, 2000; Mederski, 2006; Moskalik, 2004; Suwała i Jodłowski, 2002). Uszkodzenia drzew w drzewostanie, w którym prowadzono badania, miały charakter powierzchniowy, w związku z tym harwester wykonywał tam cięcia zupełne, podobnie jak w drzewostanach rębnych. W przypadku takich drzewostanów Brzózko i in. (2009) podają, że wydajność pozyskania jest o 40–60% mniejsza w stosunku do pracy w normalnych warunkach.

Skoncentrowanie pozostałości zrębowych w wałach nie tylko usprawniło ich zrywkę, lecz także wyeliminowało wszelkie czynności związane z przygotowaniem powierzchni do odnowienia. Uzyskane w pracy wydajności eksploatacyjne zrywki pozostałości zrębowych wyniosły prawie $7 \text{ m}^3/\text{h}$. Jednoznaczna ocena tego wyniku może być dyskusyjna, bowiem jest on efektem zamiany metrów przestrzennych zrębków uzyska-

nych z pozostałości zrębowych na metry sześcienne z wykorzystaniem współczynnika redukcyjnego 0,25 (Skorygowane zasady..., 2011). Zastosowanie innego zamiennika skutkowałoby innym wynikiem, dlatego też wydaje się, że dla oceny wydajności zrywki pozostałości zrębowych lepsze byłoby przeliczenie metrów przestrzennych zrębków na metry przestrzenne pozostałości zrębowych w postaci nierozdrobnionej. W opinii przedsiębiorców leśnych zajmujących się pozyskiwaniem drewna na cele energetyczne 1 mp zrębków uzyskuje się z około 4 mp pozostałości zrębowych. Wyliczona na podstawie powyższego przelicznika wydajność zrywki biomasy wyniosłaby ponad 100 mp/h. Na wynik ten wpływ miałyby, obok dokładnego skoncentrowania pozostałości zrębowych przez harwester, także niewielka odległość zrywki wynosząca około 160 m (dla drewna średniowymiarowego wynosiła ona około 190 m). Mniejsza odległość zrywki pozostałości zrębowych spowodowała, że czasyjazd były krótsze, chociaż zdecydowanie największy wpływ na duże różnice w czasach całych cykli zrywki drewna i pozostałości miały krótsze czasy rozładunku tych ostatnich (średnio prawie 3,5-krotnie).

Podsumowanie

1. Średnie czasy czynności wyróbki sortymentów drzewnych i przygotowania pozostałości zrębowych harwesterem były podobne, przy czym pochodziły ze zbiorów o różnych rozkładach. Czasy przygotowania pozostałości zrębowych cechowały się większą zmiennością i występowaniem większej liczby bardzo krótkich pojedynczych obserwacji.

2. Wyróbka drewna i przygotowanie pozostałości zrębowych cechowały się zbliżonymi udziałami w czasie operacyjnym.

3. Wydajność harwestera podczas wyróbki sortymentów drzewnych była na poziomie wydajności tej maszyny uzyskiwanej w trzebieży wczesnej drzewostanu sosnowego.

4. Czas cyklu zrywkowego pozostałości zrębowych był o 40% krótszy od czasu cyklu zrywkowego surowca drzewnego (przy odległości zrywki krótszej mniej więcej o 30 m). Duży wpływ na ten rezultat miał prawie 3,5-krotnie krótszy czas rozładunku pozostałości zrębowych.

Literatura

- Bort, U., Mahler, G., Pfeil, Ch. (1990). Sturmholzaufarbeitung mit Kranfollerntern. *AFZ DerWald – Allg. Forst Z. Wald u. Forstwirtschaft.*, 25–26, 640–641.
- Brzózko, J. (2009). Pozyskiwanie drewna z obszarów pokłęskowych – czynniki ryzyka i sposoby zwiększania bezpieczeństwa pracy. *Techn. Roln. Ogrodn. Leśn.*, 1, 10–12. Pozyskano z: http://www.pimr.poznan.pl/trol1_2009/JB1_2009.pdf
- Brzózko, J., Szereszewicz, B., Szereszewicz, E. (2009). Productivity of machine timber harvesting at the wind-damaged site. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW Agric.*, 54, 41–49.
- Duffner, W. (1991). Mechanisierte Sturmholzaufarbeitung. *AFZ DerWald – Allg. Forst Z. Wald u. Forstwirtschaft.*, 3, 130–132.
- Instrukcja bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu podstawowych prac z zakresu gospodarki leśnej. (2012). Warszawa: DGLP.

- Jakubowski, M., Bembenek, M., Mederski, P. (2005). Struktura czasu pracy pracowników zatrudnionych przy pozyskiwaniu drewna w drzewostanach dotkniętych kłeską wiatrolomów i wiatrowałów. W: D. F. Giefing, P. Mederski (red.), *Zagadnienia współczesnej ergonomii w sektorach leśnym, drzewnym i rolnym* (s. 48–51). Poznań: Katedra Użytkowania Lasu AR w Poznaniu.
- Jodłowski, K. (2000). Wstępne wyniki badań eksploatacyjnych harwestera Timberjack 770. *Przegl. Tech. Roln. Leśn.*, 4, 23–25.
- Mederski, P. S. (2006). A comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without midfield. *For. Ecol. Manage.*, 224, 286–296.
- Moskalik, T. (2004). Model maszynowego pozyskiwania drewna w zrównoważonym leśnictwie polskim. Warszawa: Wyd. SGGW.
- Muszyński, Z., Muszyński, J. (1999). Problem zastosowań ergonomicznych podczas usuwania drzew w drzewostanach pokłeskowych. *Zast. Ergon.*, 2/3, 109–115.
- Puchniarski, T. (2003). Kłeski żywiołowe w lasach. *Poradnik leśniczego. Metody zapobiegania i likwidacji*. Warszawa: PWRiL.
- Raport o stanie lasów w Polsce 2006. (2007). Warszawa: CILP.
- Raport o stanie lasów w Polsce 2007. (2008). Warszawa: CILP.
- Raport o stanie lasów w Polsce 2008. (2009). Warszawa: CILP.
- Raport o stanie lasów w Polsce 2009. (2010). Warszawa: CILP.
- Raport o stanie lasów w Polsce 2010. (2011). Warszawa: CILP.
- Raport o stanie lasów w Polsce 2011. (2012). Warszawa: CILP.
- Raport o stanie lasów w Polsce 2012. (2013). Warszawa: CILP.
- Skorygowane zasady obrotu i ewidencji pozostałości drzewnych (drobnicy) na cele energetyczne – M2E. Zrębki energetyczne M2ZE i baloty M2BE. (2011). *Maszynopis*. Warszawa: DGLP.
- Sowa, J. M., Szewczyk, G., Stańczykiewicz, A., Grzebieniowski, W. (2009). Pracochloność pozyskiwania drewna w drzewostanach ze śniegołomami. *Leśn. Pr. Bad.*, 70, 4, 429–434.
- Suwała, M. (2000). Pozyskiwanie drewna w warunkach kłeskowych. W: M. Suwała (red.), *Poradnik użytkownika lasu* (s. 278–286). Warszawa: Świat.
- Suwała, M. (2004). Metody oraz koszty i opłacalność pozyskiwania drewna ze złomów i wywrotów. *Sylwan*, 3, 63–71.
- Suwała, M., Jodłowski, K. (2002). Wpływ procesów technologicznych na wydajność pracy i koszty pozyskiwania drewna w drzewostanach sosnowych starszych klas wieku. Cz. 1. Trzebieże późne. *Pr. Inst. Bad. Leśn. Ser. A*, 935, 2, 87–109.
- Teuffel, K., Hall, M. (1990). Sturmholzaufarbeitung mit Vollerntern. *AFZ DerWald – Allg. Forst Z. Wald u. Forstwirtschaft.*, 46–47, 1211–1212.

EFFECTIVENESS OF MECHANIZED WOOD HARVESTING IN A TREE STAND DAMAGED BY WIND

Summary. The paper contains an assessment of basic effectiveness indicators of wood processing and extraction in a 28-year-old pine stand, after a wide-area wind damage. The assessment was based on the effective work time. In the applied technological variant a harvester concentrated logging residues by putting them in stripes along the roundwood assortments. The research found similar relative values of work time spent on the roundwood production, as well as on concentrating the logging residues. The productivity of the harvester amounted to 8.85 m³/h when producing the roundwood assortments and 3.29 m³/h when forming logging residues stripes. The extraction

productivities for the roundwood assortments and the logging residues, over a distance of 150–200 m, were 18.75 m³/h and 6.86 m³/h, respectively.

Key words: wind damages, harvester, forwarder

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Włodzimirz Stempski, Katedra Techniki Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71 C, 60-625 Poznań, Poland, e-mail: stempski@up.poznan.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

24.03.2015

Do cytowania – For citation:

*Stempski, W., Jabłoński, K. (2015). Efektywność maszynowego pozyskiwania drewna z drzewostanu uszkodzonego przez wiatr. *Nauka Przyr. Technol.*, 9, 3, #40. DOI: 10.17306/J.NPT.2015.3.40*