

DARIUSZ KULAK, ARKADIUSZ STAŃCZYKIEWICZ, GRZEGORZ SZEWCZYK,
ŁUKASZ WALA

Wydajność zrywki drewna skiderem na terenach pochyłych

Efficiency of timber skidding on the slopes

ABSTRACT

Kulak D., Stańczykiewicz A., Szewczyk G., Wala Ł. 2019. Wydajność zrywki drewna skiderem na terenach pochyłych. Sylwan 163 (7): 601-609. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2019003>.

The aim of the study is to characterise the working time structure of an operator of the LKT 82 skidder performing timber skidding on the sloping area, and to develop models of efficiency and time-consumption of the work depending on selected factors characteristic of the described transport process. The research was performed in the Sucha Forest District (S Poland). We considered two treatments: late thinning and felling performed in stands with the dominating share of beech. Logs obtained with chainsaws were initially extracted with horses and laid at the slope road. Later on the additional skidding with skidder tractor was done. Continuous timing of individual operations was performed with the use of a microcomputer equipped with time measurement software (accuracy of 1 second). We also determined skidding distance using a GPS device, the number of extracted logs in the load, and the volume of the logs. The total timing measurements lasted for a total of 70 h 24 min 27 s. During that time, the tractor made 72 cycles, transporting 998 logs with a total volume of 493.3 m³. In the mature stand, the average skidding distance amounted to approximately 1,160 m, a single load consisted of 3-4 logs with a volume of 7.7 m³. The operational efficiency of the skidding was 9.1 m³/h. In the thinning stand, the skidding distance was 1,230 m, the average load consisted of 22 logs with a volume of 5.8 m³. The operational efficiency amounted to 7.8 m³/h, on average. The working time structure was dominated by auxiliary (over 60%) and effective (nearly 30%) times. The obtained regression models of the duration of activities from the group of operational times were characterised by high correlation coefficient (about 0.75 for skidding time and driving without a load). Relatively strong relationships ($r > 0.5$) were also found between the times of collecting cable pulling and load attachment, and the volume of the extracted loads, and in the case of the times of collecting cable pulling also the type of treatment performed. The regression models for the times of log stacking, pulling the loads up with the winch and detaching them, despite the fact that they were statistically significant, characterised by relatively low correlation coefficients. The relationship between skidding efficiency and skidding distance was also determined (fig.). The duration of skidding cycles was described using the multiple regression with the volume of single loads and the skidding distance as the determinants. The regression models of skidding efficiency and time-consumption of skidding cycles may find practical application in estimating the efficiency of the tasks performed in stands and under conditions similar to those analysed in the present research.

KEY WORDS

timber harvesting, skidding, working time, modelling

ADDRESSES

Dariusz Kulak – e-mail: rlkulak@cyf-kr.edu.pl

Arkadiusz Stańczykiewicz – e-mail: arkadiusz.stanczykiewicz@urk.edu.pl

Grzegorz Szewczyk – e-mail: rlszewcz@cyf-kr.edu.pl

Łukasz Wala

Zakład Użytkowania Lasu i Drewna, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46,
31-425 Kraków

Wstęp

W ostatnich latach nastąpił w Polsce intensywny rozwój pozyskania drewna kłodowanego, najczęściej z wykorzystaniem zestawu harwestera i forwardera [Mederski i in. 2016]. Szacuje się, że w ten sposób pozyskiwane jest w Polsce około 20% surowca drzewnego [Moskalik i in. 2017]. Jednak dominującą pozycję w zakresie pozyskiwania surowca drzewnego nadal zajmują technologie ręczno-maszynowe. Bazują one na ścince, okrzesywaniu i wyróbce sortymentów za pomocą pilarek spalinowych oraz zrywce za pomocą różnie wyposażonych ciągników rolniczych bądź skiderów, czyli specjalistycznych ciągników leśnych do zrywki półpodwieszonyj [Moskalik i in. 2017]. Najliczniej w operacjach zrywkowych w polskich lasach wykorzystywane są ciągniki rolnicze – pracuje ich około 3000. Z kolei skiderów wykorzystuje się około 1500 [Kocel 2013]. Ze względu na ich większą wydajność zrywane jest przez nie co najmniej tyle samo drewna co z użyciem ciągników rolniczych [Dudek 2010b]. W lasach górskich, stanowiących w Polsce 8,7% powierzchni leśnej [Leśnictwo 2017], należy się liczyć ze specyficznymi problemami w prowadzeniu prac pozyskaniowych. Działania gospodarcze są w nich utrudnione w związku z dużym zróżnicowaniem terenu, znaczącymi spadkami stoków, słabym udostępnieniem drzewostanów drogami i szlakami zrywkowymi [Sadowski i in. 2012; Vusić i in. 2013]. Stosowane w nich rębnie złożone (częściowe, gniazdowe, stopniowe i przerębowe) utrudniają mechanizację prac pozyskaniowych [Sosnowski 2003]. Stąd w warunkach górskich, nie tylko w Polsce, nadal stosowana jest zrywka dwuetapowa, w której drewno dłużycowe wyciągane jest z drzewostanu przez konie w sposób włączony do dróg stokowych pełniących funkcję szlaków operacyjnych. Drugi etap zrywki, najczęściej bardzo długi (nawet kilkukilometrowy) realizowany jest w sposób półpodwieszony z użyciem ciągników [Porter, Strawa 2006; Spinelli, Magagnotti 2012]. W takich warunkach, na szlakach o większych pochyleniach, ciągniki rolnicze, szczególnie modele z napędem na jedną oś, są mniej przydatne, gdyż wykazują mniejszą stabilność i większą podatność na przewrócenie niż ciągniki przegubowe z napędem na wszystkie koła [Ahmadi 2011]. Trudne warunki pracy powodują, że w praktyce do zrywki, bez względu na wiek drzewostanu i rodzaj wykonywanego w nim zabiegu, wykorzystywane są najczęściej ciągniki typu skider [Kulak i in. 2013; Proto i in. 2018]. Uwarunkowania historyczne, popularność marki producenta oraz względy ekonomiczne spowodowały, że wśród użytkowanych w Polsce skiderów najliczniejszą grupę stanowią słowackie ciągniki marki LKT [Maksymiak, Grieger 2008]. Z tego właśnie powodu, a także w wyniku powszechnego wykorzystania ich w lasach środkowo-wschodniej części Europy [Allman i in. 2015] wiedza na temat efektywności pracy tych ciągników stale powinna być uzupełniana, tym bardziej że wykorzystywane są one do prac zrywkowych z coraz bardziej urozmaiconym wyposażeniem, a najbardziej popularne modele (LKT 81, LKT 82) są stale modernizowane [Grabowska 2013].

Celem pracy było scharakteryzowanie struktury czasu pracy operatora ciągnika typu skider wykonującego zrywkę drewna w terenie pochyłym oraz opracowanie modeli wydajności i czaso-

chłonności pracy w zależności od wybranych czynników charakterystycznych dla opisywanego procesu transportowego.

Material i metody

Badania zlokalizowano w górskiej części Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Katowicach, na terenie Nadleśnictwa Sucha. Uwzględniono dwa zabiegi – trzebież późną oraz cięcia rębne wykonywane w drzewostanach z dominującym udziałem buka (tab. 1).

W analizowanych drzewostanach wykonano prace pozyskaniowe z użyciem pilarek spalinyowych z wyróbką drewna dłużycowego. Surowiec został następnie zerwany za pomocą koni i ułożony przy drodze stokowej, po której prowadzono drugi etap zrywki za pomocą ciągnika typu skider. Był to model LKT 82, wyposażony w dwubębnową wciągarkę sterowaną mechanicznie z kabiny ciągnika. Ciągnik obsługiwany był przez jednego operatora. Zrywka do składnicy odbywała się w dół stoku, przy średnim spadku terenu wynoszącym 10%. Prace zrywkowe prowadzono w terenie o glebie suchej lub zmrożonej. Podczas zrywki skiderem wykonano chronometraż cykli pracy za pomocą mikrokomputera Psion Workabout wyposażonego w odpowiednie oprogramowanie do pomiarów czasu z dokładnością do 1 sekundy [Szewczyk 2010]. Obserwowane czynności zaliczone zostały do kategorii czasów zestawionych w normie BN-76 9195-01, wykorzystywanej standardowo do klasyfikacji czasów pracy z zakresu pozyskiwania drewna [Szewczyk 2014]. W kategorii czasów efektywnych (T_1) wyróżniono czas zrywki (T_{11}) oraz mygłowania (T_{12}). W grupie czasów pomocniczych (T_2) wyodrębniono czas jazdy nieładownej (T_{21}), rozciągania liny zbiorczej (T_{22}), zaczepiania ładunku (T_{23}), dociągania ładunku wciągarką (T_{24}), odczepiania ładunku (T_{25}), przejazdów częściowo ładownych w trakcie formowania ładunku (T_{26}) oraz przejść i rozpoznania terenu (T_{27}). Podczas zrywki mierzono jej dystans za pomocą urządzenia GPS, a na składnicy określano liczbę zerwanych dłużyc oraz mierzono ich wymiary (długość i średnicę) w celu obliczenia miąższości.

Za pomocą analizy regresji wielokrotnej przeprowadzono estymację parametrów równań określających zależności pomiędzy czasem cykli zrywkowych i wydajnością pracy oraz czasem trwania poszczególnych czynności z grupy czasów operacyjnych a kategorią drzewostanu (rębny, trzebieżowy), wybranymi cechami ładunków (miąższość drewna i liczba dłużyc) oraz dystansem zrywki. Obliczono parametry tych równań, istotność poszczególnych zmiennych niezależnych

Tabela 1.

Powierzchnia (Pow [ha]), typ siedliskowy lasu (TSL), skład gatunkowy (Skład), wiek (W [lata]), pierśnica (DBH [cm]), wysokość (H [m]) i miąższość grubizny (V_{gr} [m^3/ha]) drzewostanów, w których zlokalizowano badania

Area (Pow [ha]), habitat type (TSL: LMGśw – fresh mixed deciduous forest), species composition (Skład Bk – beech, Jd – fir, Św – spruce, Md – larch), age (W [years]), breast height diameter (DBH [cm]), height (H [m]) and merchantable timber volume (V_{gr} [m^3/ha]) of stands in which the research was located

	Pow	TSL	Skład	W	DBH	H	V_{gr}
A							
rębnia IVd	7,14	LMGśw	8 Bk	125	41	33	280
stepwise cutting			2 Jd	125	50	32	105
B							
trzebież	10,95	LMGśw	4 Bk	55	18	20	120
późna			2 Św	55	40	21	95
late			2 Md	65	35	28	85
thinning			1 Św	65	25	25	58
			1 Bk	65	25	22	33

oceniono za pomocą testu t-Studenta, a całych modeli – wykorzystując test Fishera. Dla ustalenia względnej ważności poszczególnych cech modelu przyjęto za miarę wag standaryzowane (znormalizowane) współczynniki regresji β . Modelowanie wydajności i czasochłonności pracy wykonano w oparciu o czasy operacyjne. Podejście takie, wobec znaczącej zmienności pracy, jest często wykorzystywane w analizach czasów zrywki [Bembenek i in. 2011; Spinelli i in. 2012]. Analizy statystyczne prowadzono za pomocą pakietu Statistica 12 (StatSoft, Inc.).

Wyniki

Wykonane pomiary chronometrażowe trwały łącznie 70 h 24 min 27 s. W tym czasie ciągnik wykonał 72 cykle zrywkowe, transportując 998 dłużyc o łącznej miąższości 493,3 m³. Średnie wartości wydajności i czasochłonności cyklu zrywkowego, a także miąższości drewna w pojedynczym ładunku oraz dystansu zrywki były porównywalne w obu drzewostanach (tab. 2). Natomiast znaczące różnice wystąpiły w liczbie dłużyc stanowiących ładunek. W drzewostanie rębny (A) liczba ta wyniosła średnio ponad 7, a w drzewostanie trzebieżowym (B) 22.

Podczas prac zrywkowych największy udział w kategorii czasów operacyjnych – prawie 25% – zajmowały jazdy nieładowne (T_{21}). Blisko 20% czasu zajmowała zrywka (T_{11}). Znaczący udział – 10-15% – miały jeszcze czasy zaczepiania ładunku (T_{23}), mygłowania (T_{12}) oraz odczepiania ładunku (T_{25}). Pozostałe czynności cechowały się mniejszym udziałem w czasie operacyjnym – około 5% (tab. 3). Najliczniej obserwowanymi czynnościami były te związane z formowaniem ładunków (T_{22} , T_{23} oraz T_{24}) – wystąpiły ponad 200 razy. W związku z wstępnym przygotowaniem pakietów drewna przy drodze stokowej nie były to jednak czynności trwające długo – średnio 0,9-2,3 min. Najdłużej trwające czynności były związane z przemieszczaniem ciągnika i drewna (T_{11} , T_{12} i T_{21}).

Uzyskane modele regresji czasu trwania czynności z grupy czasów operacyjnych (tab. 4) cechowały się największą wartością współczynnika korelacji – około 0,75 w przypadku czasu zrywki (T_{11}) oraz jazdy nieładownej (T_{21}). Stosunkowo silne zależności – współczynnik korelacji $>0,5$ – stwierdzono również pomiędzy czasami rozciągania liny zbiorczej (T_{22}) i zaczepiania ładunku (T_{23}) a miąższością zrywanych ładunków, a w przypadku czasu T_{22} również rodzajem wykonanego zabiegu. Pozostałe modele regresji, uzyskane dla czasów mygłowania (T_{12}), do-

Tabela 2.

Średnia (M), suma (Σ), minimum (Min), maksimum (Max) i odchylenie standardowe (SD) liczby dłużyc w ładunku (N), miąższości ładunku (V [m³]), dystansu zrywki (D [m]), czasu cyklu (t [min]) i wydajności operacyjnej (Wzryw [m³/h]) w badanych drzewostanach (liczba cykli w nawiasie)

Mean (M), total (Σ), minimum (Min), maximum (Max) and standard deviation (SD) of number of logs in a load (N), load volume (V [m³]), skidding distance (D [m]), cycle time (t [min]) and operational efficiency (Wzryw [m³/h]) in analysed stands (number of cycles in parentheses)

	M	Σ	Min	Max	SD	
A (40)	N	7,35	294	2	2,14	
	V	7,66	306,40	1,90	11,60	2,34
	D	1158,0	46320,0	360,0	2730,0	600,1
	t	56,40	2255,76	8,82	110,20	23,45
	Wzryw	9,09	–	5,32	20,11	3,36
B (32)	N	22,00	704	5	37	6,86
	V	5,84	186,90	1,80	9,10	1,41
	D	1230,3	3937,0	300,0	2350,0	545,48
	t	47,27	1512,52	11	73,47	14,85
	Wzryw	7,80	–	5,72	13,64	1,72

Tabela 3.

Liczba obserwacji (N), udział (U [%]), średnia (M), suma (Σ), minimum (Min), maksimum (Max) i odchylenie standardowe (SD) poszczególnych czasów pracy [min]

No. of observations (N), fraction (U [%]), mean (M), total (Σ), minimum (Min), maximum (Max) and standard deviation (SD) of working times [min]

	N	U	M	Σ	Min	Max	SD
T ₁₁	72	18,1	9,16	659,57	0,78	22,75	4,69
T ₁₂	59	11,7	7,46	440,20	1,20	28,80	5,86
T ₂₁	79	23,9	11,40	900,60	0,85	31,33	6,15
T ₂₂	216	5,1	0,88	190,85	0,23	4,43	0,58
T ₂₃	217	13,3	2,32	503,02	0,22	11,33	2,02
T ₂₄	215	6,0	1,05	225,23	0,23	17,83	1,47
T ₂₅	76	11,1	5,53	420,22	0,13	22,33	3,52
T ₂₆	115	6,6	2,18	250,62	0,20	14,88	2,49
T ₂₇	22	4,3	7,32	160,97	0,95	19,82	5,64

Tabela 4.

Modele poszczególnych kategorii czasów operacyjnych

Models of individual categories of operational times

		Test F	R	p	SE
T ₁₁	y11=0,445·a+0,005·b	45,34	0,75	<0,01	3,13
T ₁₂	y12=5,320+0,091·c	3,46	0,24	0,04	5,72
T ₂₁	y21=1,839·a+0,005·b+0,091·c	20,32	0,74	<0,01	4,85
T ₂₂	y22=0,255·a+1,061·d	30,919	0,68	<0,01	0,97
T ₂₃	y23=0,931·a	26,54	0,52	<0,01	3,30
T ₂₄	y24=1,859+2,283·d	13,93	0,41	<0,01	2,28
T ₂₅	y25=0,515·a	8,79	0,34	<0,01	3,16
T ₂₆	–	1,861	–	0,13	–
T ₂₇	–	1,865	–	0,18	–

a – miąższość jednorazowego ładunku [m³], b – dystans zrywki [m], c – liczba dłużyc w ładunku, d – kod zabiegu (1 – rębnia, 2 – trzebież), R – współczynnik korelacji, SE – błąd standardowy

a – volume of a single load [m³], b – skidding distance [m], c – number of logs in the load, d – treatment code (1 – felling system, 2 – thinning), R – correlation coefficient, SE – standard error

ciągania ładunków wciągarką (T₂₄) oraz odczepiania ładunków (T₂₅), pomimo tego, że były istotne statystycznie, cechowały się stosunkowo niewielkimi współczynnikami korelacji, nieprzekraczającymi 0,5. Dla czasów przejazdów częściowo ładownych (T₂₆) oraz przejść i rozpoznania terenu (T₂₇) nie uzyskano modeli istotnych statystycznie, co oznacza, że większy wpływ miały na nie czynniki nieuwzględnione w analizie bądź mają one charakter losowy.

Dla założonej grupy zmiennych niezależnych skonstruowano model regresji wielokrotnej wydajności zrywki, w którym istotny jest jedynie wyraz wolny oraz dystans zrywki. Ostatecznie model zależności pomiędzy wydajnością a dystansem zrywki (ryc.) przyjął postać klasycznego równania regresji ($t=-3,524$, $p=0,001$):

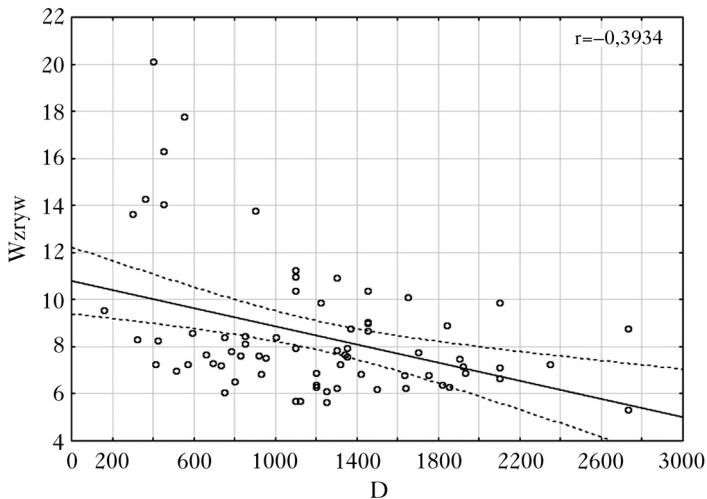
$$W_{02} = 10,82 - 0,002 \cdot D \quad [1]$$

Uzyskany model regresji wielokrotnej dla czasów trwania cykli zrywkowych jest istotny statystycznie ($F=74,80$, $p=0,00$) i cechuje się współczynnikiem korelacji $R=0,83$.

$$T_c = 6,802 \cdot V + 0,0079 \cdot D \pm 11,67 \quad [2]$$

gdzie:

T_c – czas trwania cyklu pracy [min],



Ryc.

Zależność między wydajnością zrywki w czasie operacyjnym (Wzryw [m^3/h]) a jej dystansem (D [m])
Relationship between skidding efficiency in the operational time (Wzryw [m^3/h]) and skidding distance (D [m])

V – miąższość jednorazowego ładunku [m^3],

D – dystans zrywki [m].

Przedstawiony model w 68% wyjaśnia zmienność czasów cykli zrywkowych. Uzyskane wartości standaryzowanych współczynników regresji informują, że na czas trwania cyklu pracy większy wpływ miała miąższość zrywanych ładunków ($\beta=0,72$) niż dystans zrywki ($\beta=0,22$).

Dyskusja

Na analizowanych w badaniach dystansach zrywki dochodzących do 3 km (średnio ponad 1 km) uzyskano zadowalające wydajności, rzędu 8-9 m^3/h , w zależności od realizowanego zabiegu. Dla porównania zrywka drewna za pomocą skidera LKT 81 w bieszczadzkich drzewostanach jodłowych cechowała się wydajnością rzędu 5,5 m^3/h , która została osiągnięta podczas trzebieży późnych na znaczącym dystansie zrywki, wynoszącym 1400-2000 metrów [Porter, Strawa 2006]. W bardzo trudnych warunkach – w bieszczadzkich bukowych drzewostanach rębnych przy zalegającej pokrywie śnieżnej i średnim dystansie zrywki wynoszącym aż 3000 metrów – Sadowski i in. [2012] odnotowali wydajność skidera Kockums 822 niewiele przekraczającą 2 m^3/h . Długie dystanse zrywki, do 1000 metrów, analizowali pod względem wydajności Borz i in. [2013]. W rumuńskich górach podczas zrywki drewna skiderami TAF, w zależności od modelu ciągnika i dystansu zrywki, wydajność prac wynosiła 3,2-3,7 m^3/h .

Według Dudka [2010a, b] w warunkach górskich o wydajności zrywki decyduje jej dystans oraz wiek drzewostanu. Autor ten podaje, że w bukowych drzewostanach Bieszczad przy wydłużaniu dystansu zrywki ze 100 do 700 metrów w trzebieżach późnych wydajność godzinowa zrywki zmniejszała się z 9 do 6,4 m^3 , zaś w drzewostanie rębnym z 15 do 8 m^3 . Podobnych analiz dla chorwackich jodłowych górskich drzewostanów dokonali Zečić i in. [2010]. Dla półpodwieszanej zrywki drewna skiderem Timberjack 240 zaobserwowali spadek wydajności przy zwiększaniu dystansu zrywki ze 100 do 1000 metrów z 8,3 do 3,4 m^3/h . Ten sam model skidera i na tych samych dystansach zrywki w polskich górskich drzewostanach bukowych osiągał wydaj-

ność zrywki na poziomie 3,3-7,1 m³/h [Suwała, Rzadkowski 2001]. Przytoczone dane dotyczące wydajności zrywki na duże dystanse w warunkach górskich wskazują najczęściej na mniejszą wydajność pracy niż obserwowana w niniejszych badaniach. Należy to wiązać z tym, że w przeprowadzonych badaniach pierwszy, najtrudniejszy etap zrywki z drzewostanu do szlaku wykonano za pomocą koni. Dzięki temu czasy T_{22} i T_{24} związane z obsługą liny zbiorczej osiągały niewielkie udziały w strukturze czasu pracy operatora, około 5%. Podczas standardowego modelu zrywki za pomocą skidera udział tych czasów może osiągać nawet 40% [Proto i in. 2018].

Uzyskane w pracy modele matematyczne poszczególnych kategorii czasów wykazywano już w literaturze jako czynniki wpływające na czas zrywki. Przykładowo Mousavi i in. [2012] w pracy dotyczącej m.in. wydajności skidera HSM-904 przedstawili równanie regresji na czas rozładunku bazujące na wielkości zrywanego ładunku. Z kolei Marčeta i in. [2014] opisali równania regresji, w których uzależnili czas zaczepiania, odczepiania oraz formowania ładunku za pomocą skidera LKT 81T od wielkości jednorazowego ładunku. W tej samej pracy czas jazd ładownych i nieładownych zależał od dystansu zrywki. Poje i in. [2016] powiązali czas trwania wszystkich czynności wykonywanych przy półpodwieszanej zrywce drewna z dystansem, na jakim była prowadzona. Liczba dłuźyc w ładunku wykorzystywana była do estymacji parametrów regresji czasu formowania ładunku przez skider [Mousavi i in. 2013] czy też szacowania całkowitego czasu pracy skidera [Gholami, Majnounian 2008]. Rodzaj wykonywanego zabiegu wykorzystywany był do szacowania parametrów funkcji czasochłonności zrywki drewna długiego w rozbiću na trzebieże wczesne i trzebieże późne [Szewczyk 2014], a zrywki drewna krótkiego w rozbiću na cięcia trzebieżowe i rębne [Nurminen i in. 2006].

Analiza regresji wykazała, że w opisanym wariancie zrywki na jej wydajność istotnie wpływał jedynie dystans, na jaki transportowano drewno. Do podobnych wniosków doszli Bavaghar i in. [2010] podczas analiz wydajności skidera kołowego zrywającego drewno w dół stoku. Z kolei Mousavi i in. [2012] uzyskali model regresji wydajności zrywki półpodwieszanej oparty na dystansie zrywki, ale także na wielkości transportowanych przez skider ładunków. W niniejszych badaniach model wykorzystujący jako zmienne niezależne dystans zrywki i wielkość ładunków uzyskano dla czasu trwania cyklu zrywkowego. Modele czasu trwania cykli zrywkowych podawane w literaturze są zazwyczaj bardziej skomplikowane i budowane w oparciu o większy zestaw zmiennych niezależnych, również takich jak liczba dłuźyc stanowiących ładunek i ich gabaryty, rodzaj wykonywanego zabiegu czy też spadek terenu [Zečić, Marenče 2005; Kulak i in. 2017]. Przyczyną uzyskania uproszczonego modelu czasu trwania cykli zrywkowych jest prawdopodobnie specyfika dwuetapowej zrywki w górach, gdzie pomimo różnic w liczbie jednorazowo zrywanych dłuźyc (w drzewostanie rębnym średnio 7,4, a w trzebieżowym aż 22) wielkość ładunków była zbliżona w obydwu kategoriach użytkowania – odpowiednio 7,66 i 5,84 m³. Można to wiązać z tym, że pakiety drewna zostały wstępnie uformowane w niewielkie mygły podczas zrywki konnej, a skider nie musiał wyciągać z drzewostanu pojedynczych dłuźyc o wymiarach zależnych od wieku drzewostanu.

Podsumowanie

Analizowany skider linowy LKT 82, realizujący w warunkach górskich drugi etap półpodwieszanej zrywki bukowego drewna długiego na średnim dystansie ponad 1 km, osiągnął wydajność na poziomie 8-9 m³/h. Duży udział czasów z grupy operacyjnych w strukturze czasu pracy operatora skidera (około 90%) świadczy o efektywności takiego sposobu zrywki. Wydajność pracy uzależniona była od dystansu zrywki, natomiast czas trwania cyklu pracy powiązany z miąższością ładunku i dystansem, na jaki przemieszczano surowiec. Opracowane modele regresji wydajności

zrywki i czasochłonności cykli zrywkowych mogą znaleźć zastosowanie praktyczne do szacowania wydajności prac w drzewostanach i warunkach zbliżonych do analizowanych.

Literatura

- Ahmedi I. 2011. Dynamics of tractor lateral overturn on slopes under the influence of position disturbances (model development). *Journal of Terramechanics* 48 (5): 339-346.
- Allman M., Ferencik M., Jankovský M., Stanovský M., Messingerová V. 2015. Damage Caused by Wheeled Skidders on Cambisols of Central Europe. *Croatian Journal of Forest Engineering* 2 (36): 205-215.
- Bavaghar M. P., Sobhani H., Feghhi J., Darvishsefat A. A., Marvi Mohajer M. R. 2010. Comprehensive productivity models for tracked and wheeled skidders in the Hyrcanian forests of Iran. *Research Journal of Forestry* 4 (2): 65-71.
- Bembenek M., Mederski P. S., Erler J., Giefing D. F. 2011. Results of large-size timber extracting with a grapple skidder. *Acta Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 10 (3): 5-14.
- Borz S. A., Dinulică F., Bîrda M., Ignea G., Ciobanu V. D., Popa B. 2013. Time consumption and productivity of skidding silver fir (*Abies alba* Mill.) round wood in reduced accessibility conditions: a case study in windthrow salvage logging form Romanian Carpathians. *Annals of Forest Research* 56 (2): 363-375.
- Dudek T. 2010a. Badanie wydajności technologii zrywki drewna w lasach górskich. Część 1. Drzewostany przedrębne. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 3: 2-4.
- Dudek T. 2010b. Badanie wydajności technologii zrywki drewna w lasach górskich. Część 2. Drzewostany rębne. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 4: 2-4.
- Gholami M. J., Majnounian B. 2008. Productivity and cost of wheeled skidder in Hyrcanian Forest. *International Journal of Natural and Engineering Sciences* 2 (3): 99-103.
- Grabowska K. 2013. Kultowe LKT. Słowackie skidery dawniej i dziś. *Nowa Gazeta Leśna* 4: 30-32.
- Kocel J. 2013. Firmy leśne w Polsce. CILP, DGLP, Warszawa.
- Kulak D., Stańczykiewicz A., Szewczyk G. 2017. Productivity and time consumption of timber extraction with a grapple skidder in selected pine stands. *Croatian Journal of Forest Engineering* 38 (1): 55-63.
- Kulak D., Stańczykiewicz A., Szewczyk G., Kobiółka P. 2013. Soil disturbances as a result of timber skidding in fir-beech mountain stands. *Forestry Letters* 105 (3): 35-46.
- Leśnictwo. 2017. GUS, Warszawa.
- Maksymiak M., Grieger A. 2008. Analiza wydajności półpodwieszanej zrywki drewna na przykładzie maszyn Timberjack 1010 i Valmet 860.3. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* (4): 2-5.
- Marčeta D., Petković V., Košir B. 2014. Comparison of two skidding methods in beech forests in mountainous conditions. *Nova mehanizacija šumarstva: Časopis za teoriju i praksu šumarskoga inženjerstva* 35 (1): 51-62.
- Mederski P. S., Karaszewski Z., Rosińska M., Bembenek M. 2016. Dynamika zmian liczby harwesterów w Polsce oraz czynniki determinujące ich występowanie. *Sylwan* 160 (10): 795-804. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2016030>.
- Moskalik T., Borz S. A., Dvořák J., Ferencik M., Glushkov S., Muiste P., Lazdiņš A., Styranivsky O. 2017. Timber Harvesting Methods in Eastern European Countries: a Review. *Croatian Journal of Forest Engineering* 38 (2): 231-241.
- Mousavi R., Nikooy M., Nezhad A. E., Ershadfar M. 2012. Evaluation of full tree skidding by HSM-904 skidder in patch cutting of aspen plantation in Northern Iran. *Journal of Forest Science* 58 (2): 79-87.
- Mousavi R., Nikoye Seyahkal M., Naghdi R. 2013. Comparison of timber skidding using two ground-based skidding systems: grapple skidding vs. cable skidding. *International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE)* 3 (3): 79-86.
- Nurminen T., Korpunen H., Uusitalo J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40 (2): 335-363.
- Poje A., Potočnik I., Danilovic M., Antonić S. 2016. A case study of the impact of skidding distance on tractor operator exposure to noise. *Baltic Forestry* 22 (2): 357-364.
- Porter B., Strawa P. 2006. Analiza pozyskiwania i zrywki drewna w drzewostanach jodlowych. *Sylwan* 1 (150): 67-72.
- Proto A. R., Macrì G., Visser R., Russo D., Zimbalatti G. 2018. Comparison of timber extraction productivity between winch and grapple skidding: A Case study in Southern Italian Forests. *Forests* 9 (2): 61-67.
- Sadowski J., Moskalik T., Zastocki D. 2012. Basic parameters of timber harvesting processes in mountain beech stands in Komancza Forest Inspectorate. *Acta Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 11 (4): 37-44.
- Sosnowski J. 2003. Zasady proekologicznej zrywki drewna w warunkach gospodarki leśnej w górach. *Sylwan* 147 (5): 58-64.
- Spinelli R., Magagnotti N. 2012. Wood extraction with farm tractor and sulky: estimating productivity, cost and energy consumption. *Small-scale Forestry* 11 (1): 73-85.
- Spinelli R., Magagnotti N., Relaño R. L. 2012. An alternative skidding technology to the current use of crawler tractors in Alpine logging operations. *Journal of Cleaner Production* 31: 73-79.

- Suwała M., Rządowski S. 2001. Wydajność, koszty i uszkodzenia drzew przy pozyskiwaniu drewna w trzebieżach drzewostanów górskich. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa A 1* (911): 85-111.
- Szewczyk G. 2010. Czasochłonność zrywki konnej w drzewostanach trzebieżowych. *Sylwan* 154 (1): 52-63. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2009023>.
- Szewczyk G. 2014. Model strukturalny dynamiki zmienności pracy na wybranych stanowiskach roboczych w pozyskiwaniu i zrywce drewna. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kollątaja w Krakowie* 522. Rozprawy 399.
- Vusić D., Šušnjar M., Marchi E., Spina R., Zečić Ž., Picchio R. 2013. Skidding operations in thinning and shelterwood cut of mixed stands – work productivity, energy inputs and emissions. *Ecological Engineering* 61: 216-223.
- Zečić Ž., Marenče J. 2005. Mathematical models for optimization of group work in harvesting operation. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering* 26 (1): 29-37.
- Zečić Ž., Vusić D., Prka M., Klepac S. 2010. Utjecaj nagiba traktorskog puta na proizvodnost traktora Timberjack 240C pri privlačenju drvnih sortimenata u prebornim šumama. *Šumarski list* 134 (3-4): 103-113.