

Aktualne możliwości zmechanizowanego pozyskiwania drewna w warunkach górskich

Current possibilities of mechanized logging in mountain areas

Krzysztof Jodłowski* , Michał Kalinowski

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

*Tel. +48 22 7150346, fax. +48 22 7153837, e-mail: K.Jodlowski@ibles.waw.pl

Abstract. Modern technologies allow wood harvest in almost all terrains, including hard-to-reach mountain areas. Each of the technical measures used, however, has limitations due to its construction and the nature of the work. The present study discusses issues related to the selection of machinery and technology as well as planning work in mountainous terrain, taking into account factors such as accessibility of the stand and terrain properties (slope, ground bearing capacity). Adaptive changes of forest machinery for work in mountain stands are also presented. This article furthermore discusses possibilities of applying machinery and technologies already used in other countries to harvest wood in mountainous forests in Poland.

Keywords: wood harvesting, steep terrain, mountain conditions, harvester, forwarder

Słowa kluczowe: pozyskanie drewna, stromy teren, warunki górskie, harwester, forwarder

1. Wstęp

Price i in. (2011) podają, że lasy górskie zajmują 9 mln km², co stanowi 23% powierzchni lasów rosnących na Ziemi. Zaznaczają również, że w Europie lasy zajmują 41% terenów górskich, ponad połowę Alp, Bałkanów i Pirenejów. Potrzeba użytkowania tych obszarów sprawiła, że harwestery są tam z powodzeniem wykorzystywane do prac pozyskaniowych (Sauter et al. 1998; Heinimann 1999; Moskalik, Stampfer 2003; Probst 2005; Spinelli et al. 2013; Visser, Stampfer 2015), a wyrabiane przez nie drewno jest zrywane przy użyciu różnorodnych środków technicznych, głównie kolejek linowych i forwarderów.

Polska nie obfituje w lasy górskie o znacznie zróżnicowanej rzeźbie. Brak informacji o powierzchni drzewostanów w zależności od nachylenia terenu nie ułatwia wyboru możliwej do użycia technologii. Z pewnym przybliżeniem można posłużyć się udziałem siedlisk wyżynnych – 5,9% i górskich – 8,2% w powierzchni lasów w Polsce ogółem, według danych dostępnych na portalu Bank Danych o Lasach.

W Polsce w ciągu minionych dwudziestu pięciu lat liczba specjalistycznych maszyn do pozyskania drewna, zwłaszcza harwesterów i forwarderów, systematycznie rosła (Kusiak 2008; Żabierek, Wojtkowiak 2013; Mederski et al. 2016). Większość tych maszyn pracuje na terenach równinnych, jednak coraz częściej są stosowane w terenie o urozmaiconej rzeźbie.

2. Specyfika pozyskiwania drewna w warunkach górskich

Praca maszyn w warunkach górskich napotyka na szereg problemów, niewystępujących na niżu, jak np.:

- zwiększone zapotrzebowanie na moc, związane z poruszaniem się po stokach,
- kłopoty ze statecznością podczas pracy i przejazdów,
- duże zróżnicowanie podłoża – od skalistego po gleby o znacznej miąższości, gromadzące wilgoć podczas wiosennych roztopów czy intensywnych opadów deszczu,
- dużą miąższość drzew pozyskiwanych w cięciach rębnych, często większą niż w warunkach nizinnych,
- warunki atmosferyczne, wpływające na planowanie i przebieg pozyskiwania drewna w warunkach górskich w znacznie większym stopniu niż ma to miejsce na niżu, np. topniejący śnieg, intensywne opady deszczu praktycznie zatrzymują prace z uwagi na bardzo wysokie ryzyko wystąpienia erozji.

W kolejnych rozdziałach niniejszej pracy autorzy przedstawiają rozwiązania techniczne i technologiczne związane z eksploatacją maszyn do pozyskiwania drewna w lasach górskich wielu krajów, koncentrując się głównie na doborze maszyn i technologii, planowaniu pracy oraz zmianach adaptacyjnych konstrukcji samych maszyn. Warto poznać doświadczenia związane z użytkowaniem tych maszyn w in-

nych krajach pod kątem możliwości przeniesienia stosowanych rozwiązań na grunt polski.

3. Dobór maszyn i technologii

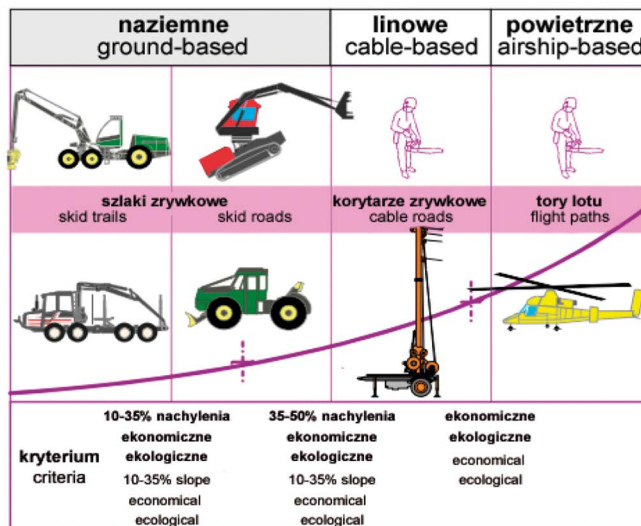
Przy doborze właściwej technologii i planowaniu prac związanych z pozyskiwaniem drewna w warunkach górskich należy brać pod uwagę ograniczenia wynikające zarówno z konstrukcji środków technicznych, jak i z ukształtowania terenu i własności podłoża (ryc. 1, 2). Rodzaj stosowanych technologii zależy od: stopnia nachylenia terenu, lokalnych tradycji oraz od dostępności środków technicznych.

W projekcie NEWFOR¹ (www.newfor.net) wyróżniono siedem technologii stosowanych w warunkach alpejskich – od najprostszych ‘pilarka + koń / skider’ po najbardziej zaawansowane ‘harwester + forwarder i pilarka + helikopter’. Poziom mechanizacji zastosowanej technologii zależy od wielu czynników. Oprócz wymienionych wcześniej ograniczeń należy uwzględnić również aspekt ekonomiczny, widoczny choćby w regionach włoskich (dane z lat 2008–2010): Veneto i Lombardia. Przeważająca liczba firm leśnych to firmy bardzo małe – prawie 70% zarejestrowanych firm w regionie Veneto to firmy jednoosobowe. Z kolei około 40% firm w Lombardii to firmy bardzo słabo zmechanizowane, posiadające zaledwie mały ciągnik do zrywki i transportu drewna. 49% firm posiada ciągniki zrywkowe, harwestery gąsienicowe (na podwoziu koparki) i kolejki linowe, 11% również forwardery. Na drugim biegunie, jeśli chodzi o poziom mechanizacji pozyskania drewna w warunkach górskich, znajduje się Austria i Bawaria. W Austrii zdecydowanie rośnie udział harwesterów i procesorów, a do zrywki stosuje się systemy linowe (wciągarki i kolejki linowe), przy systematycznym wzroście udziału zrywki nasiębniernej. W Bawarii, gdzie udział pozyskania harwesterami w rejonie alpejskim w 2013 roku przekroczył 30%, udział zrywki ciągnikami i skiderami spadł do 35%, a udział zrywki nasiębniernej (przy użyciu forwarderów) pozostawał na poziomie 15%. Wiele zatem zależy od zamożności lokalnej społeczności.

Wybór systemu pozyskania drewna zależy także w dużej mierze od gęstości istniejącej sieci dróg (www.newfor.net). W przypadku słabej jakości dróg następuje znaczne wydłużenie drugiego etapu zrywki lub podwozu surowca do najbliższej składnicy dostępnej dla samochodów wywozowych. Pewnym ograniczeniem dotyczącym mechanizacji prac pozyskaniowych i ich wydajności w warunkach górskich jest miąższość pozyskiwanych drzew (zbyt duża niekiedy uniemożliwia pozyskanie harwesterem) czy wymagania hodowli lasu. Niekiedy czynnikiem ograniczającym mechanizację tych prac może być brak wykwalifikowanych operatorów.

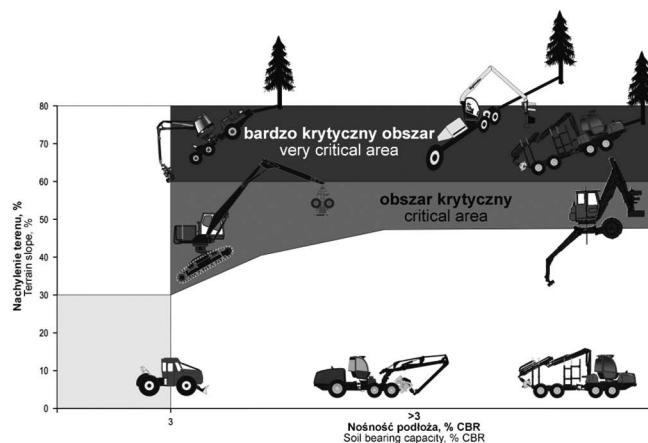
Enache i in. (2015) zwracają uwagę na specyfikę lasów górskich i bogactwo pełnionych przez nie funkcji i usług ekosystemowych. Zauważają, że celem tradycyjnej hodowli lasu jest

zrównoważona produkcja drewna, natomiast zrównoważona gospodarka leśna jest koncepcją wspierającą wielofunkcyjną rolę lasów. W tym przypadku stosowanie rębni przerobowej wydaje się podejściem właściwym, natomiast trudnym do zastosowania i dyskusyjnym pod względem technicznej



Rycina 1. Różne koncepcje pozyskiwania drewna w zależności od stopnia nachylenia terenu (Heinimann 1999)

Figure 1. Different concepts of logging depending on the slope (Heinimann 1999)



Rycina 2. Bezpieczny zakres pracy naziemnych maszyn do pozyskania drewna w zależności od stopnia nachylenia terenu [%] i nośności podłoża, mierzonej kalifornijskim współczynnikiem nośności – CBR² (Heinimann 1995 za Visser, Stampfer 2015).

Figure 2. Safe scope of work of ground-based wood harvesting machines depending on the slope [%] and bearing capacity of the ground, measured by the California Bearing Ratio – CBR (Heinimann 1995 after Visser, Stampfer 2015)

¹Projekt obejmował pięć alpejskich krajów: Austrię (Montafon i Tyrol), Francję, Niemcy (Bawaria), Słowenię i Włochy (regiony Veneto i Lombardia).

²Kalifornijski wskaźnik nośności California Bearing Ratio (CBR) – wskaźnik służący do określania nośności podłoża gruntowego pod budowę dróg oraz podbudów drogowych. Został opracowany przez Kalifornijski Departament Transportu (California Department of Transportation). (https://en.wikipedia.org/wiki/California_bearing_ratio).

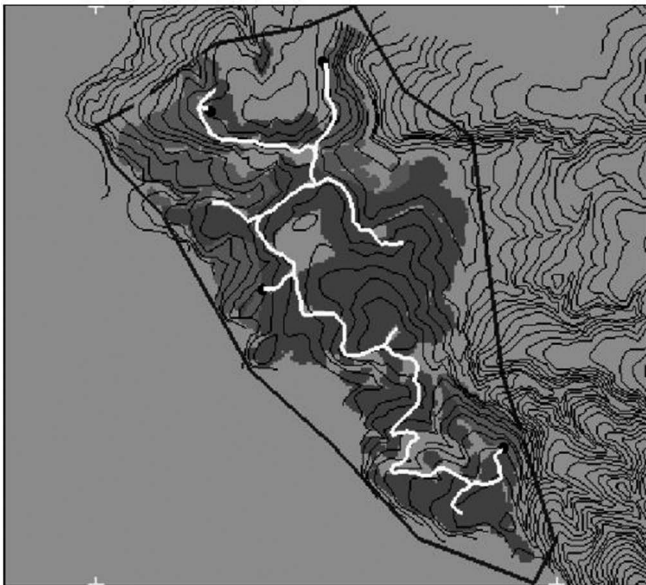
wykonalności i efektywności ekonomicznej. Wybór systemu pozyskania jest utrudniony z jednej strony przez rosnące zainteresowanie półnaturalną hodowlą lasu i jego adaptację do zmian klimatu, a z drugiej przez rosnące zapotrzebowanie na dobrej jakości drewno i drewno energetyczne.

Odrębnym zagadnieniem jest wybór technologii pozyskania w zależności od miąższości i składu gatunkowego drzewostanów. Laurov i Trześniowski (2000) podkreślają, że proces pozyskiwania drewna powinien być poprzedzony dokładną analizą wpływu poszczególnych rozwiązań organizacyjnych, technicznych i technologicznych na środowisko.

4. Planowanie prac pozyskaniowych

4.1. Wybór właściwej technologii pozyskania z uwagi na dostępność drzewostanu i inne wybrane parametry

W warunkach górskich najważniejszym czynnikiem wpływającym na wybór właściwej technologii pozyskania drewna jest dostępność terenu (Heinimann 2000). Transport drewna dzieli się na dwie, ściśle powiązane ze sobą fazy, realizowane w drzewostanie i po drogach wywozowych. Do planowania prac coraz częściej wykorzystuje się specjalne oprogramowanie, pozwalające na wspomaganie decyzji przy budowie dróg, lokalizacji miejsc składowania drewna i rozmieszczeniu sprzętu do pozyskania drewna – skiderów, kolejek linowych (Heinimann 1998; Epstein et al. 2001; Grigolato et al. 2017). Systemy takie są budowane w oparciu o dane z baz GIS i nimi zasilane (ryc. 3).



Rycina 3. Efekt zastosowania systemu PLANEX do planowania prac pozyskaniowych. Kolorem białym są oznaczone drogi, obszary ciemnoszare to drzewostany, w których zrywka będzie prowadzona przez skidery, a jasnoszare to drzewostany przeznaczone dla kolejek linowych (Epstein et al. 2001).

Figure 3. The effect of using the PLANEX system for planning harvesting tasks. Roads are marked in white, dark areas are tree stands for skidders and bright for cable cranes. (Epstein et al. 2001).

Poršinsky i in. (2008), na podstawie numerycznego modelu terenu i sieci dróg oraz danych z inwentaryzacji i granicznych parametrów dla różnych systemów pozyskiwania drewna, dokonali funkcjonalnej klasyfikacji terenu pod kątem wyboru technologii pozyskania. Model wyboru ekologicznego systemu pozyskania dla gospodarczych lasów północnego Velebitu (Chorwacja) uwzględnił trzy czynniki: nachylenie terenu, odległości zrywki i średnią pierśnicę drzewostanu. Na podstawie opracowanego modelu określono system pozyskania dla każdego wydzielenia. Wyniki pokazują, że wielkość pierśnicy ogranicza zmechanizowane pozyskanie i wyróbkę drewna. Okazało się, że w pełni zmechanizowane systemy pozyskania mogą być wykorzystane tylko na 7,27% badanego obszaru. W analizowanym przypadku dominowała zrywka naziemna.

Z kolei Kühmaier i Stampfer (2010) opracowali system wspomaganie decyzji przy doborze technologii pozyskiwania drewna oraz korekty sieci dróg. System posłużył do wyboru najlepszych technologii pozyskania i oszacowania ekologicznych, ekonomicznych i społecznych skutków ich zastosowania, po korekcie sieci dróg. Model wdrożono w stromym terenie na obszarze 1100 ha lasów w południowej części Dolnej Austrii. Odnotowano pozytywny efekt zastosowania wspomaganego linowo forwardera na wydajność, emisję CO₂ i drzewostan. Autorzy zauważyli, że dla analizowanego przedsiębiorstwa leśnego połączenie wzrostu gęstości dróg leśnych i wdrożenia technologii ze wspomaganym linowo forwarderem prowadzi do potrojenia wydajności, zwiększenia marży (contribution margin) firmy z 40 do 56 euro/m³ oraz obniżenia wskaźnika uszkodzeń drzewostanu o 53% i współczynnika urazów o 93%. Żaden inny wariant nie przyniósł tak dużych korzyści. Wzrost gęstości sieci dróg może być jednak trudny do zrealizowania, z uwagi na społeczną presję, aby cięcia w drzewostanie miały w większym stopniu charakter selekcyjny, a infrastruktura drogowa ograniczona (Stampfer et al. 2006).

Gęstość sieci dróg wpływa na możliwości stosowania środków zrywkowych. Optimum gęstości sieci jest związane z ilością drewna do pozyskania z jednego hektara, kosztem budowy drogi oraz wielkością pojedynczego ładunku pozyskanego surowca drzewnego. W warunkach austriackich Ghaffariyan i in. (2007) określili optymalną gęstość dróg na 19,9 m/ha, przy następujących założeniach: średni ładunek forwardera – 8,25 m³, wielkość pozyskania – 100 m³/ha, koszt budowy drogi – 20 euro/m. Przy założeniu, że maszyna będzie zawsze zrywała pełny ładunek (17,5 m³), gęstość dróg mogłaby być mniejsza – 13,5 m/ha. Nachylenie stoku na powierzchni badawczej wynosiło 11%.

Przy podobnych założeniach odnośnie do pozyskania i kosztów budowy dróg Ghaffariyan i in. (2010) określili optymalny odstęp między drogami w przypadku zrywki masztową kolejką linową Wanderfalke o długości liny nośnej około 500 m. Wyniki uzyskane dla zrywki jednokierunkowej i dwukierunkowej to odpowiednio 261 i 374 m. Autorzy zauważyli, że koszty pozyskania przy zrywce jednokierunkowej, w górę stoku, gwałtownie spadają, gdy odległość między drogami

wzrasta z 20 do 230 m, natomiast w zakresie od 230 do 290 m zmniejszają się jedynie o 0,16 euro/m³, co stanowi wskazówkę dla planujących modyfikację sieci dróg leśnych.

Planując prace pozyskaniowe w warunkach górskich, należy pamiętać o ograniczeniach ekonomicznych różnych technologii. Heinimann (1998) wykonał modelowanie kosztów dwóch systemów zrywki – skiderem i przy użyciu kolejki linowej, w zależności od nachylenia stoku (30% i 60%) oraz gęstości sieci dróg. Przy założonych przez autora parametrach, między innymi długości liny nośnej kolejki wynoszącej 500 m, model sugerował wybór kolejki linowej przy nachyleniu stoku powyżej 42%, a skidera przy gęstości sieci dróg powyżej 25 m/ha.

Przy planowaniu prac pozyskaniowych i związanych z nimi ewentualnych inwestycji drogowych należy uwzględnić ochronę następujących elementów (Heinimann 2000):

- zlewni – budowa dróg i stosowane technologie pozyskaniowe mogą stwarzać, między innymi, zagrożenie erozją i osunięcia gruntu;

- siedlisk – pozyskanie i zrywka drewna oddziałuje bezpośrednio na glebę, powodując jej erozję i zagęszczenie. Właściwości mechaniczne gleby zależą od zawartości w niej wody. Zakłóceniom struktury gleby można zapobiec na trzy sposoby: unikając wjazdu maszyn na powierzchnię, gdy wilgotność gleby jest duża, stosując opony niskociśnieniowe oraz ograniczając liczbę przejazdów maszyn po szlakach zrywkowych;

- bezpieczeństwa pracowników – leśnictwo jest sektorem z dużą wypadkowością. Szczególnie niebezpieczne są technologie ręczno-maszynowe;

- zasobów naturalnych – procesy produkcji wiążą się ze zużyciem materiałów, energii i uwalnianiem odpadów do środowiska. Coraz większego znaczenia, nabierają w tym przypadku analizy LCA³. W późniejszych pracach Heinimann i in. (2012) oraz Klein i in. (2015) wykazali, że analizy LCA nie są stosowane powszechnie do oceny prac leśnych i koncentrują się na energii inwestowanej, pomijając obciążenie środowiska.

Autorzy pracy proponują jeszcze jeden element, którego ochrona powinna być wzięta pod uwagę – populacje zwierząt i roślin żyjących na danym terenie.

4.2. Dostępność technologii

Stopień stosowania nowoczesnych technologii opartych na naziemnych środkach technicznych (harwestery, skidery, forwardery) jest w warunkach górskich niektórych krajów ciągle niski. Badania ankietowe przeprowadzone we włoskich Alpach w regionie Lombardia wykazały, że systemy linowe są najczęściej wykorzystywane przez firmy pozyskujące drewno (Mologni et al. 2016), a na obszarze objętym badaniami pracowały jedynie trzy forwardery i jeden skider. Potwierdza to wyniki badań przeprowadzonych kilka lat wcześniej (Spinelli et al. 2013). Najpopularniejsze okazały się zespoły wciągarek na płozach (prawie 65% wszystkich

systemów linowych), stosowane do zrywki w dół stoku, na odległość 800–850 m. Udział mobilnych kolejek linowych z masztem oraz kolejek z wózkiem zrywkowym posiadającym własny napęd wynosił po 15%, natomiast mobilne kolejki linowe bez masztu stanowiły niecałe 5%.

Według autorów alternatywą dla systemów linowych stosowanych obecnie we włoskich Alpach mogłyby być asekurowane zsynchronizowanymi wciągarkami maszyny naziemne, które mogą pracować na stokach o nachyleniu do 60% (Visser 2016). Oznaczałoby to ograniczenie stosowania kolejek linowych do bardzo stromych stoków, choć nie sama wielkość nachylenia terenu jest bezwzględnym miernikiem stosowania danej technologii, lecz także jego morfologia i rzeźba. Linowe systemy pozyskania są jednak droższe niż systemy naziemne (Ghaffariyan et al. 2007).

4.3. Nachylenie i inne właściwości terenu

W pozyskaniu drewna w warunkach górskich dominują technologie linowe, jednak coraz powszechniejsze stają się maszyny naziemne, kołowe lub gąsienicowe (Visser, Stampfer 2015). Jednym z czynników ograniczających ich stosowanie jest nachylenie terenu. Początkowo (FAO/ECE/ILO 1971 za Visser, Stampfer 2015) ustalono praktyczne limity dla zrywki w dół skiderami kołowymi na 50%, a gąsienicowymi na 60%, w zależności od rzeźby terenu. Późniejsze doświadczenia wykazały, że z uwagi na zagrożenie erozją gleby wartości te powinny jednak zostać ograniczone odpowiednio do 30% i 40% (Peters 1991 za Heinimann 1999; Visser, Stampfer 2015). Badania prowadzone na 22 maszynach: w Nowej Zelandii (18 maszyn), Austrii (2 maszyny) i Norwegii (2 maszyny) wykazały, że współczesne maszyny często przekraczały limity przyjęte w Nowej Zelandii – odpowiednio 17% (~38%) i 22% (~50%) (Berkett, Visser 2012; Visser, Berkett 2015).

Niekiedy producenci podają wskazówki dotyczące możliwości trakcyjnych maszyn na swoich stronach internetowych. Według Komatsu (za Visser, Stampfer 2015) maszyny asekurowane wciągarką mogą pracować na stokach o nachyleniu do 55%. Cavali i Amishev (2017), za Cavali (2015), przyjmują następujące wartości graniczne (tab. 1).

Oprócz nachylenia terenu ważnym elementem wpływającym na możliwości pracy maszyn jest także nośność podłoża (Heinimann 1999; Strandgard et al. 2014) oraz jego lokalna rzeźba (szorstkość) – rozpadliny, głązy itp. (Amishev et al. 2009; Cavali, Amishev 2017) a także obecność pniaków (Visser, Berkett 2015).

W badaniach Heinimanna (1999) nad zależnością zdolności pokonywania wzniesień od właściwości podłoża uwzględniono trzy maszyny: harwester gąsienicowy IMPEX „Bengal Tiger”, harwester kołowy Timberjack 1270B (z oponami 600/55-26,5) oraz klembank FMG 1710 (z oponami 800/40-26,5). Autor zauważa, że w większości podręczników dotyczących prac leśnych granice mobilności maszyn są podane w odniesieniu do maksymalnego uzgodnionego gradientu nachylenia. Wyniki badań przedstawione na rycinie 4

³LCA ocena cyklu życia (Life Cycle Assessment)

Tabela 1. Graniczne nachylenie terenu [%] dla różnych rodzajów maszyn leśnych
 Table 1. Slope limit [%] for different types of forest machines

Rodzaj podwozia maszyny Type of machine undercarriage	Pozyskanie Harvesting	Zrywka półpodwieszona Skidding	Zrywka nasiębierna Forwarding
	[%]		
Kołowe, wyposażone w łańcuchy i półgąsienice Wheeled, equipped with chains and half-tracks	35–45	35–45	30–35
Z trapezoidalnymi gąsienicami With trapezoidal caterpillars	50–70	-	-
Gąsienicowe Tracked	45–60	45–55	35–45
Kołowo-kroczące Wheeled-walking	60–80	-	-
Maszna asekurowana wciągarką Winch-assisted machine	75–85	75–85	75–85

pokazują, że sam gradient nachylenia nie jest wystarczającym kryterium i należy również uwzględnić własności gleby, zwłaszcza w warunkach podłoża o niskiej nośności.

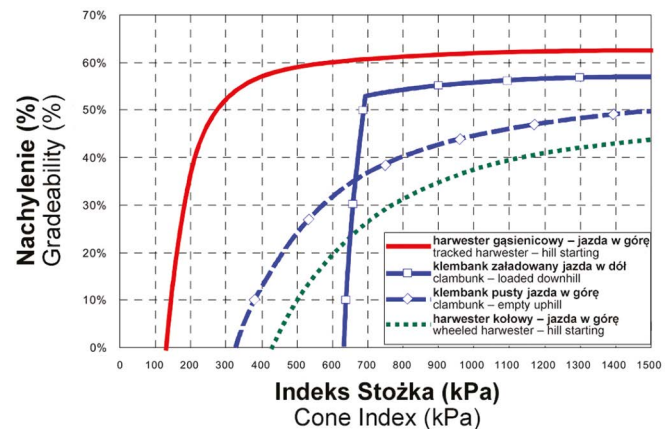
5. Adaptacja maszyn do pracy w warunkach górskich

5.1. Poprawa stateczności

Maszyny przeznaczone do pracy w warunkach górskich wymagają modyfikacji w dwóch obszarach: poprawy stateczności maszyny podczas pracy na stoku oraz ergonomii. Sprawy związane z ergonomią rozwiązano w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku w Stanach Zjednoczonych. Do prac leśnych zaadaptowano tam koparki gąsienicowe, montując zamiast czerpaków głowice ścinkowe, procesorowe, harwesterowe lub chwytaki. Część tych maszyn posiadała już poziomowaną kabinę i żuraw. Takie rozwiązania konstrukcyjne poprawiają zdolności operacyjne i charakteryzują się większą wydajnością niż ma to miejsce w przypadku maszyn bez poziomowanych kabin (Schiess et al. 1983 za Visser, Stampfer 2015; Stampfer 1999 za Amishev, Evanson 2010). Poziomowanie kabiny, a zwłaszcza poziomowanie kolumny żurawia, jest również istotne ze względu na trwałość elementów – gdy kolumna żurawia jest odchylona od pionu, pojawia się dodatkowy moment obciążający konstrukcję podczas obrotu.

O ile pierwsze rozwiązania z poziomowaniem kabin posiadały sterowanie ręczno-mechaniczne, o tyle obecne działania operatora zastępują mechanizmy automatyczne. Standardem są też poziomowane, obrotowe siedziska, pełne oszklenie kabiny oraz kamery poprawiające widoczność w czasie pracy. Kabina podąża (do pewnego stopnia) za ruchem żurawia, zmniejszając obciążenie mięśni szyi.

Dużo trudniejszym zagadnieniem jest zapewnienie stateczności maszyny podczas pracy na stoku, tzn. kontrolowanie położenia środka ciężkości. Poziomowanie kabiny



Rycina 4. Zdolność pokonywania wzniesień przez maszyny gąsienicowe i kołowe w zależności od właściwości (zwięzłości) gruntu określanych przy użyciu wskaźnika Indeksu Stożka (Cone Index) (Heinimann 1999)

Figure 4. Slope climbing ability for tracked and wheeled machines depending on the ground properties determined using the Cone Index (Heinimann 1999)

i żurawia, stosowane w leśnych maszynach z podwoziem gąsienicowym, zmienia również położenie środka ciężkości całej konstrukcji, poprawiając jej stateczność.

W maszynach kołowych, oprócz poziomowanych kabin, które poprawiają wyłącznie komfort pracy operatora, w celu zachowania stateczności stosuje się również inne rozwiązania. Jednym z najczęstszych jest zwiększenie liczby kół do ośmiu, zgrupowanie ich w tandemach (osie boogies) i wyposażenie w półgąsienice. Zastosowanie tandemów znacznie ułatwia pokonywanie drobnych przeszkód terenowych – pniaków, zagłębień itp., zmniejszając boczne wychylenie maszyny (harwestera bądź forwardera). Tandem sprawia, że maszyna wychyla się o połowę mniej, niż miałoby to miejsce w przypadku użycia pojedynczego koła.

Niekiedy stosowane są dodatkowe siłowniki umożliwiając-

ce uniesienie kół w przednim tandemie. Przekształca to chwilowo maszynę ośmiokołową w sześciokołową, ale ułatwia pokonywanie nierówności terenu, np. rowów.

5.2. Zmiany konstrukcji podwozia

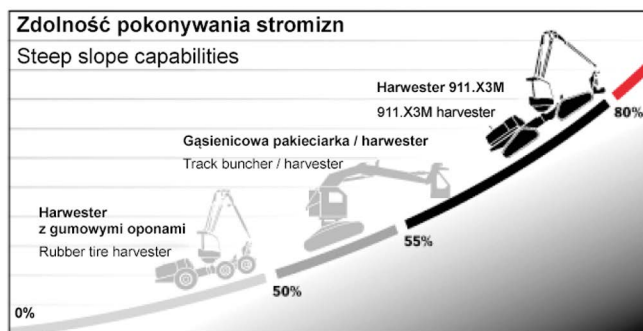
W zależności od stosowanego rozwiązania konstrukcyjnego podwozia, różne są też możliwości wykorzystania harwesterów w warunkach górskich (ryc. 5). Stosowanie większej liczby kół i półgąsienic znacznie zwiększa zakres stosowania tych maszyn na stokach.

Przykładem harwestera ze specjalistycznym podwoziem jest Valmet 911 „Snake” (Moskalik, Stampfer 2003) – maszyna gąsienicowa zaprojektowana specjalnie do pozyskiwania drewna w drzewostanach górskich. Modyfikacja standardowego, kołowego harwestera Valmet 911 polegała na zastąpieniu kół czterema trapezoidalnymi, niezależnie poruszającymi się gąsienicami o szerokości 50 cm. Badania terenowe przeprowadzone w Austrii (Stampfer, Steinmüller 2001) wykazały, że tak skonstruowana maszyna łatwiej niż standardowy, dwugąsienicowy (na podwoziu koparki) harwester pokonuje różne nierówności terenu i może pracować na stokach o nachyleniu do 70%.

W Austrii (Pröll 2001 za www.newfor.net) około 50% harwesterów jest wyposażonych w gąsienice. Ich stosowanie zmniejsza nacisk maszyn na grunt oraz umożliwia pracę na stokach o większym nachyleniu. Odnosi się to również do harwesterów zbudowanych na bazie koparek gąsienicowych. Istotne jest pozostawianie przez harwester gałęzi i wierzchołków drzew na szlaku zrywkowym. Nie tylko chronią glebę – głębokość odkształceń gleby zmniejszyła się z 14 cm do 10 cm – ale zgniecione przez maszyny łatwiej ulegają mineralizacji (Duszyński, Walczyk 2009).

Interesującym rozwiązaniem poprawiającym stateczność harwesterów kołowych podczas pracy jest konstrukcja firmy Ponsse – harwester Scorpion King. W odróżnieniu od pozostałych harwesterów kołowych posiada trzyczęściową przegubową ramę, z kabiną i żurawiem osadzonymi w części środkowej. Pozwala to na obniżenie środka ciężkości, a także poziomowanie kabiny i żurawia podczas pracy. Steruje tym rozbudowany system czujników. Czujniki znajdujące się pomiędzy kabiną a żurawiem monitorują kierunek obrotu żurawia, natomiast czujnik znajdujący się w dolnej części żurawia kontroluje jego położenie. Układ stabilizacji jest aktywny również w czasie jazdy, zapewniając operatorowi komfortowe warunki podczas przemieszczania się maszyny.

Harwestery kołowo-kroczące to kolejna innowacja konstrukcyjna zbudowana na bazie koparek przeznaczonych do pracy w bardzo trudnym terenie. Przykładem takich rozwiązań są maszyny proponowane przez firmy Menzi Muck AG oraz Kaiser (Kaiser S3 Spyder), bardzo do siebie podobne pod względem technicznym. Każde z czterech kół jest niezależnie zawieszane na wysięgnikach wyposażonych dodatkowo w różne ostrogi, dzięki czemu każda z tych maszyn zachowuje dużą stateczność podczas pracy w trudnym terenie. Zamiast głowicy harwesterowej na żurawiu można mon-



Rycina 5. Różne rodzaje podwozi harwesterów i ich możliwości pracy na stromych stokach (Jaffe, O'Brien 2009 za Ghaffariyan et al. 2012)

Figure 5. Different types of harvester undercarriage and their capabilities to work on steep slopes (Jaffe, O'Brien 2009 after Ghaffariyan et al. 2012)

tować również chwytaki do przeladunku drewna. W trudnych warunkach maszyny te często muszą wspierać się na stabilizatorach, które przenoszą ich cały ciężar (Amishev, Evanson 2011), dlatego ich masa nie jest duża, sięgając maksymalnie 12–13 ton. Posiadają duży moment obrotowy korpusu i duży udźwig. Pod tym względem posiadają parametry pracy zbliżone do 20-tonowej koparki gąsienicowej. Niektóre z tych maszyn są również wyposażone we wciągarkę.

Maszyny kroczące, ze względu na swoją specyfikę (głównie niską masę), mają żurawie o małym, w porównaniu z innymi harwesterami, wysięgu wynoszącym około 8 m. To powoduje, że muszą się częściej przemieszczać (Amishev, Evanson 2011).

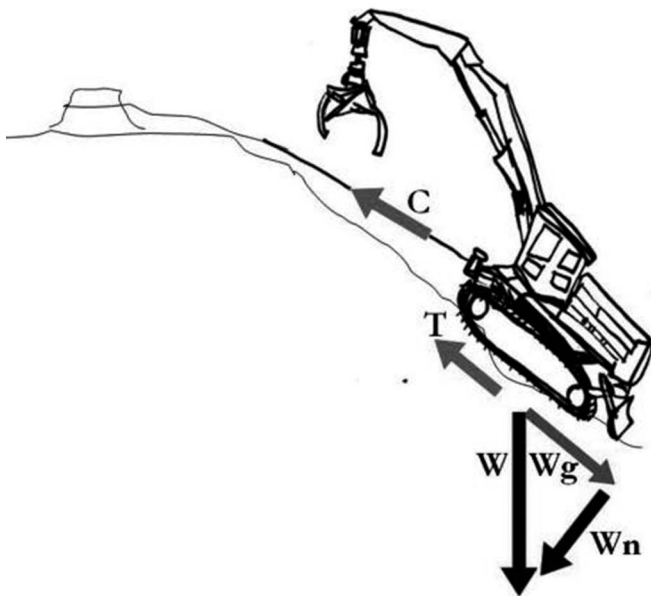
Przeprowadzone na Słowacji badania harwestera kroczącego Kaiser 2 (Slugeň, Jankovský 2012) pod kątem oddziaływania prac pozyskaniowych na środowisko leśne wykazały, że w drzewostanie mieszanym (świerk, jodła i buk) rosnącym na stoku o nachyleniu 70% uszkodzeniu uległo 6,19% pozostałych drzew. Według autorów to wielkość do zaakceptowania w porównaniu z wynikami innych badań. Największe uszkodzenia gleby w postaci wgnieceń o głębokości do 15 cm odnotowano pod podporami. Autorzy nie oceniają jednak tego negatywnie, ponieważ odkształcenia te nie mają formy ciągłej, mogącej podczas intensywnych opadów deszczu być przyczyną erozji gleby. Odnotowano również małe zagęszczenie gleby w koleinach.

Kolejnym interesującym rozwiązaniem harwestera opracowanym wyłącznie do prac w warunkach górskich jest propozycja firmy Konrad, harwester Highlander. Elementem charakteryzującym tę maszynę jest teleskopowa rama i skrotne koła. Propozycja firmy Konrad to nie tylko harwester, a w zasadzie kompletny system pozwalający na pozyskiwanie metodą sortymentową zarówno drewna, jak i całych drzew, z równoczesną zrywką pozyskanego surowca przy użyciu zdalnie sterowanego wózka z osprzętem do zrywki drewna krótkiego lub długiego. Sam harwester może również pracować w wersji harwester-klembank, po zamontowaniu na ramie kleszczy zrywkowych (Kormanek, Kępa 2016).

5.3. Maszyny asekurowane wciągarką

Jak zauważa Visser (2013) początki asekurowania maszyn pracujących na stokach przy użyciu lin należą do woj-ska, które testowało je w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku. W leśnictwie europejskim rozwiązanie to pojawiło się w latach dziewięćdziesiątych (Sebulke 2011), z chwilą gdy pewna liczba firm zaczęła oferować wciągarki zintegrowane (wbudowane) z maszynami lub montowane na maszynach. Początkowo wykorzystywano je na forwarderach, później również na harwesterach.

Aby maszyna mogła poruszać się w górę stoku wartość siły uciągu T powinna być większa niż siła ścią-gająca maszynę W_g (ryc. 6). O ile wartość W_g dla danego nachyle-nia stoku pozostaje w zasadzie niezmienna, to wartość siły uciągu zależy od parametrów podłoża. Przykładowo dla wilgotnego, miękkiego podłoża wynosi ona 0,4, a dla podłoża suchego i stabilnego 1. Współczynnik przyczepności zależy od rodzaju maszyny, ponieważ gąsienice posiadają większy współczynnik przyczepności niż koła. Opady deszczu mogą w sposób istotny zmniejszyć wartość tego współczynnika. Na rycinie 7 pokazano, w jaki sposób te parametry wpływają na możliwości pracy maszyn. W przypadku miękkiego wilgotnego podłoża ($CoT=0,4$) analizowana maszyna może wjechać samodzielnie na stok o nachyleniu do około 20%. Jeśli jednak współczynnik ma wartość maksymalną ($CoT=1$), to graniczna wartość nachylenia stoku wzrasta do około 45%.



Rycina 6. Schematyczny rozkład sił działających na maszynę pracującą na stoku, asekurowaną liną: W_g – składowa siły ciężkości, W – siła ścią-gająca maszynę w dół stoku; T – siła uciągu; C – napięcie liny wciągarki (Visser 2013)

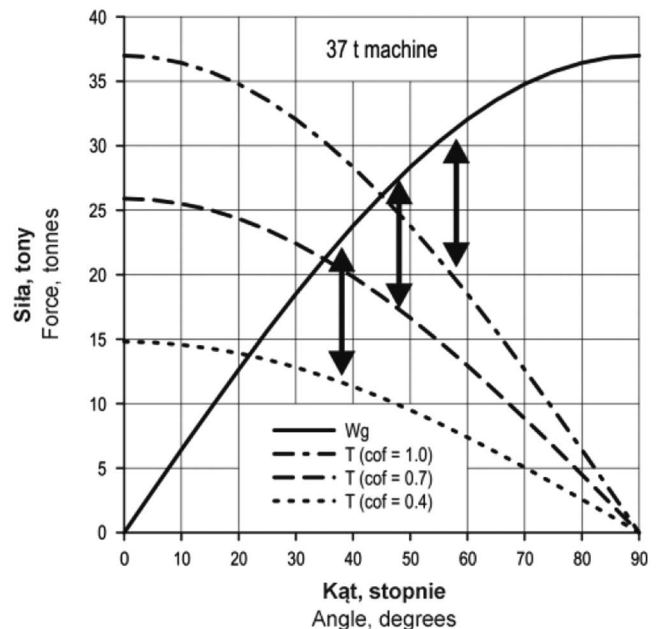
Figure 6. Schematic distribution of forces acting on the machine working on the slope, assisted with a rope: W_g – component of the gravity force W , drawing the machine downhill; T – pull force; C – tension of the winch rope (Visser 2013)

Zastosowanie wciągarki wspomagającej poruszanie się maszyny pozwala na poprawę warunków trakcyjnych i na pracę na stokach o większym nachyleniu przy tym samym podłożu. W analizowanym przez Vissera (2013) przypadku ‘zainwestowanie’ około 100 kN pozwala na zwiększenie granicznego nachylenia stoku (np. dla $CoT=0,4$) z 20 do 40% (ryc. 7). Istotnemu zmniejszeniu ulega również wielkość sił ścią-gających. Wciągarka może być zamontowana na maszynie lub na zewnętrznym urządzeniu mobilnym.

Wciągarka na maszynie (Sebulke 2011; Visser, Stampfer 2013) może być wbudowana w konstrukcję (w przypadku forwarderów najczęściej pod obsadą żurawia) lub montowana na zewnątrz do ramy maszyny (z przodu lub tyłu), co pozwala na demontaż wciągarki, kiedy nie jest potrzebna. Jednak zawsze wiąże się to ze znacznym wzrostem masy maszyny, niekiedy o blisko dwie tony, i zwiększeniem zapotrzebowania na moc. Wymagane są również pewne modyfikacje samej maszyny związane z układem sterowania oraz prowadzeniem liny, aby się nie załamywała lub nie ciągnęła po ziemi. Różne są podejścia do kotwiczenia liny wciągarki, w Europie może być ona mocowana do rosnącego drzewa, podczas gdy na półkuli południowej do pnia, pala lub zaparkowanej maszyny (spychacza, koparki).

W przypadku wciągarki zewnętrznej może być ona montowana na samobieżnym nośniku lub koparce gąsienicowej, a niekiedy do tego celu wykorzystywane są nawet kolejki linowe z masztem, zwykle stosowane do zrywki drewna.

Dla bezpieczeństwa w niektórych systemach stosuje się wciągarki dwubębnowe, maszyna jest wtedy lepiej zabezpieczona. Kontrolowane powinno być również napięcie liny.



Rycina 7. Wpływ różnych współczynników przyczepności (CoT) i nachylenia stoku na siłę uciągu (T) oraz napięcie liny (W_g) dla maszyny o wadze 37 ton (Visser 2013)

Figure 7. Influence of different coefficients of traction (CoT) and slope on tractive force (T) and rope tension (W_g) for a machine weighing 37 tons (Visser 2013)

W opracowanych w Nowej Zelandii zasadach dotyczących bezpieczeństwa podczas wykonywania prac leśnych (MBIE 2012) zaleca się, aby napięcie liny nie przekraczało 33% siły ją zrywającej. Visser (2016) stwierdził, że największe skoki napięcia liny występują podczas jazdy maszyny, a nie podczas ścińki lub układania surowca. Nieco inne wnioski wypływają z badań Holzleitnera i in. (2018), w których analizowano pracę dwóch maszyn asekurowanych linami: harwestera John Deere 1170E i forwardera John Deere 1110E. Największe napięcie liny w przypadku harwestera wystąpiło podczas obalania i obróbki ściętego drzewa. W przypadku forwardera największe napięcie liny zaobserwowano w czasie przerw poniżej 15 min. i jazdy podczas załadunku. Jednak w obu przypadkach maksymalne napięcie liny nie przekroczyło 50% wartości siły zrywającej.

Zalety stosowania wspomaganie linowego są dosyć istotne, przede wszystkim gwarantuje ono bezpieczeństwo (Cavalli, Amishev 2017). Zabezpieczenie linowe maszyny poprawia komfort pracy operatora i stwarza bezpieczne środowisko pracy, zmniejszając stres związany z pracą na stromym stoku. Autorzy ci zaznaczają również, że stosowanie linowego wspomaganie może poprawić stabilność finansową firmy i jej konkurencyjność m.in. przez:

- poprawę jakości pozyskanego surowca, zmniejszenie uszkodzeń gleby itp.,
- zwiększenie atrakcyjności pracy (poprawę komfortu i bezpieczeństwa pracy), mogącej być zachętą dla potencjalnych pracowników, jak i czynnikiem wpływającym na pozostanie w firmie,
- uniwersalność – technologia może być użyta w różnych sprzętowych konfiguracjach, pozwalając na pracę w różnych warunkach, bez konieczności poszukiwania pracowników wykwalifikowanych do obsługi kolejek linowych,
- ułatwienie prac odnowieniowych dzięki uporządkowaniu powierzchni (mniej złomów i pozostałości zrębowych).

Prace przy pozyskiwaniu drewna pilarką są uznawane za jedno z najcięższych (Nowacka, Moskalik 2013, 2014). Coraz trudniej znaleźć do nich odpowiednio wykwalifikowanego pracownika, zwłaszcza do wymagających prac w warunkach górskich, stąd konieczność wprowadzenia pozyskania mechanicznego (Berry 2016).

6. Podsumowanie i wnioski

Współczesne technologie umożliwiają pozyskiwanie drewna niemal w każdych warunkach terenowych, również w trudno dostępnych rejonach górskich. Jednak nie wszystkie środki techniczne stosowane do tego celu są dostępne w Polsce. Liczba harwesterów i forwarderów systematycznie się zwiększa, jednak ciągle brakuje maszyn adaptowanych (wyposażonych w zsynchronizowane wciągarki), czy dedykowanych do prac na stokach o dużych nachyleniach. Praktycznie brakuje również (poza pojedynczymi egzemplarzami) kolejek linowych, które umożliwiałyby pozyskanie drewna na bardzo stromych, trudno dostępnych stokach. Pozyskaniem drewna w Polsce zajmują się przede wszystkim firmy prywatne,

więc nabycie tak wyspecjalizowanych środków technicznych może być dla nich zbyt kosztowną i ryzykowną inwestycją.

Siedliska górskie zajmują 8,2% powierzchni lasów w Polsce. Niewielki ich udział może być przyczyną mniejszego zainteresowania szeroko rozumianą mechanizacją prac pozyskaniowych w drzewostanach rosnących na tych siedliskach. Obecnie stosowane są tam przede wszystkim tradycyjne technologie polegające na ścińce drzew pilarką i zrywce okrzyszanych strzałą ciągnikiem rolniczym lub skiderem, z wyróbką sortymentów na niewielkich, często tymczasowych, składnicach przy drogach wywozowych. Jednak coraz częściej stosowane są maszyny wielooperacyjne – harwestery i forwardery.

Możliwości stosowania maszyn wielooperacyjnych w warunkach górskich wiążą się nie tylko z nachyleniem terenu, ale także z wieloma innymi czynnikami, między innymi z: szorstkością terenu, dostępnością dróg wywozowych, rodzajem podłoża i porą roku (głównie z wilgotnością gleby i związaną z tym nośnością gruntu) oraz dostępnością środków technicznych.

Niezbędna jest zatem w nadleśnictwach dokładna inwentaryzacja drzewostanów pod kątem możliwości stosowania danych technologii pozyskaniowych. Przedstawione w niniejszej pracy przykłady pokazują, że istnieją narzędzia umożliwiające przeprowadzenie takiej inwentaryzacji i wykonanie niezbędnych analiz.

O ile użycie pilarki do ścińki drzew (i ewentualnie wyróbki sortymentów) oraz kolejki linowej do zrywki ma dosyć szerokie spektrum zastosowania – od cięć rębnych poprzez rębnie złożone czy trzebieże – o tyle wykorzystanie harwesterów do pozyskania drewna w drzewostanach z udziałem gatunków liściastych staje się problematyczne, szczególnie w drzewostanach starszych klas wieku. Jak zauważają Mederski i in. (2016) tereny górskie, charakteryzujące się wysokim udziałem gatunków liściastych, nie są „atrakcyjne” dla harwesterów. Przeprowadzone w naszym kraju próby ich wykorzystania do pozyskania drewna głównych gatunków liściastych (Mederski 2013; Bembenek et al. 2015; Karaszewski et al. 2016) potwierdzają tę tezę. Drzewa liściaste rosnące w naszej strefie klimatycznej często wytwarzają grube konary, które stwarzają duże problemy przy okrzyszaniu przez głowice harwesterowe. Wpływa to nie tylko na jakość samego okrzyszania, ale także na dokładność długości wyrabianych sortymentów oraz niedostateczne wykorzystanie grubizny na sortymenty. Na przykład okrzyszanie polskiego ekotypu brzozy może być mniej efektywne w porównaniu z ekotypem skandynawskim (Mederski 2013, Glöde 1999 za Mederski et al. 2016). Zatem z siedlisk górskich należy wyłączyć te z dużym udziałem gatunków liściastych.

Opinia wyrażona przez Mederskiego i in. (2016), że powstaną wkrótce głowice harwesterowe rozwiązujące te problemy, wydaje się jednak trudna do przyjęcia. Współczesne głowice harwesterowe do okrzyszania wykorzystują lite stalowe noże. Okrzyszane drzewo jest przeciągane przez głowicę za pomocą rolek podających. Wraz z grubością odcinanych gałęzi wzrasta siła potrzebna do ich odcięcia. Okrze-

sywanie bardzo grubych gałęzi często kończy się poważnym uszkodzeniem wyrabianego drewna, nawet w przypadku drzew iglastych. Rolki podające frezują poboczną wyrabianego drewna. Występowanie dużych krzywizn i grubych gałęzi powoduje trudności z okrzęsaniem strzały/pnia do końca grubizny i stąd wynika „przesunięcie” części wartościowej grubizny do drewna średniowymiarowego, niekiedy wręcz opałowego.

Kolejnym ograniczeniem jest rozmiar pozyskiwanych drzew. Zauważono, że część przeznaczonych do pozyskania świerków miała zbyt duże średnice w miejscu ścinki dla harwestera trzebieżowo-zrębowego. Podobne spostrzeżenie odnotowano podczas realizacji omawianego wcześniej projektu NEWFOR. Drzewostany górskie wymagają dużych harwesterów zrębowych, wyposażonych w odpowiednie głowice obróbcze. Stosowanie forwaderów ograniczają w zasadzie wyłącznie warunki terenowe, głównie nachylenie stoku i właściwości podłoża.

Drzewostany górskie w Polsce są w wielu przypadkach przebudowywane, co również niesie ze sobą problemy natury technicznej i technologicznej. Ochrona odnowionych gniazd wymaga połączenia różnych technologii pozyskiwanych, w wielu ręczno-maszynowej (pilarka) i maszynowej (harwester).

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródła finansowania

Projekt pt. „Możliwości stosowania maszyn wielooperacyjnych do pozyskiwania drewna w warunkach górskich w Polsce” został sfinansowany z funduszu badań własnych Instytutu Badawczego Leśnictwa. Nr projektu: 26 04 02.

Literatura

Amishev D., Evanson T. 2010. Innovative methods for steep terrain harvesting, w: FORMEC 2010 Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment, July 11–14, 2010, Padova – Italy.

Amishev D., Evanson T. 2011. “Walking machines” in Forest Operations. Harvesting Technical Note HTN03-09. Future Forests Research Limited, Rotorua, 10 s.

Amishev D., Evanson T., Raymond K. 2009. Felling and Bunching on Steep Terrain – A Review of the Literature. Harvesting Technical Note HTN01-07. Future Forests Research Limited, Rotorua, 10 s.

Bemberek M., Mederski P.S., Karaszewski Z., Lacka A., Grzywiński W., Węgiel A., Giefing D.F., 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.

Berkett H., Visser R. 2012. Measuring Slope of Forestry Machines on Steep Terrain. Harvesting Technical Note HTN05-02. Future Forests Research Limited, Rotorua, New Zealand, 5 s.

Berry A. 2016. Extending the operating range of harvesters and forwarders. *Forestry Journal* 11/16.

Cavalli R. 2015. Forest Operations in Steep Terrain. Presented at Conference CROJFE 2015 »Forest Engineering – Current Situation and Future Challenges«, March 18–20, 2015, Zagreb, Croatia www.crojfe2015.com/home [12.10.2018].

Cavalli R., Amishev D. 2017. Steep Terrain Forest Operations—Challenges, Technology Development, Current Implementation, and Future Opportunities, w: Joint Regional Meeting of IUFRO RG3.03.00 and RG3.06.00 in Asia, Matsuyama and Kochi, Japan, 24–28 July 2017.

Drews S., Hartsough B.R., Doyal J.A., Kellogg D.L. 2001. Harvester-Forwarder and Harvester-Yarder Systems for Fuel Reduction Treatments. *International Journal of Forest Engineering* 12(1): 81–91. DOI 10.1080/08435243.2001.10702766.

Duszyński Ł., Walczyk J. 2009. Utilization of the mht-182hvt mountain harvester and its effect on the forest soil and stand. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 12(2): #13.

Epstein R., Weintraub A., Sessions J., Sessions B., Sapunar P., Nieto E., Bustamante F., Musante H. 2001. PLANEX: A System to Identify Landing Locations and Access, w: Schiess, P., Krogstad F. (eds.). Proceedings of the International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium - A Forest Engineering Odyssey, Seattle 10–12 December. Seattle, University of Washington, 190–193.

Enache A., Kühmaier M., Visser R., Stampfer K. 2016. Forestry operations in the European mountains: a study of current practices and efficiency gaps. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31(4): 412–427. DOI 10.1080/02827581.2015.1130849.

FAO/ECE/ILO 1971. Symposium on forest operations in mountainous regions. Technical report, Joint FAO/ECE/ILO Committee on Forest Working Techniques and Training of Forest Workers, Krasnodar (USSR), August 31 to September 11, TIM/EFC/WP.1/1, 90 s.

Ghaffariyan M.R., Acuna M., Ackerman P. 2012. Review of new ground-based logging technologies for steep terrain. CRC for forestry. <http://www.crcforestry.com.au/index.html> [10.10.2018].

Ghaffariyan M.R., Stampfer K., Sessions J. 2007. Optimum road spacing of forwarding operations: a case study in Southern Austria. Conference: Austro2007/FORMEC'07: Meeting the Needs of Tomorrow's Forests – New Developments in Forest Engineering, October 7 – 11, Vienna and Heiligenkreuz – Austria.

Ghaffariyan M.R., Stampfer K., Sessions J. 2010. Optimal road spacing of cable yarding using a tower yarder in Southern Austria. *European Journal of Forest Research* 129(3): 409–416. DOI 10.1007/s10342-009-0346-7.

Glöde D. 1999. Single- and double-grip harvesters – productive measurements in final cutting of shelterwood. *Journal of Forest Engineering* 10(2): 63–74.

Grigolato S., Mologni O., Cavalli R. 2017. GIS applications in forest operations and road network planning: An overview over the last two decades. *Croatian Journal of Forest Engineering* 38: 175–186.

Heinimann H.R. 1995. Mechanisierte Holzernte in Hanglagen. *Wald und Holz* 76(11): 32–36.

Heinimann H.R. 1998. A computer model to differentiate skidder and cable-yarder based road network concepts on steep slopes. *Journal of Forest Research Volume* 3(1): 1–9. DOI 10.1007/BF02760286

Heinimann H.R. 1999. Ground-based harvesting technologies for steep slopes, w: Proceedings of the International Mountain Logging and

- 10th Pacific Northwest Skyline Symposium, Sessions J., Chung (editors), March 28 – April 1, Corvallis, Oregon, USA, 1–19.
- Heinimann H.R. 2000. Forest Operations under Mountainous Conditions, w: Price M.F., Butt N. (eds.) Forests in Sustainable Mountain Development: A State of Knowledge Report for 2000. CABI Publishing, 224–230. ISBN 0851994466.
- Heinimann H.R. 2012. Life Cycle Assessment (LCA) in Forestry – State and Perspectives. *Croatian Journal of Forest Engineering* 33(2): 357–372.
- Holzleitner F., Kastner M., Stampfer K., Höller N., Kanzian C. 2018. Monitoring Cable Tensile Forces of Winch-Assist Harvester and Forwarder Operations in Steep Terrain. *Forests* 9(2). DOI 10.3390/f9020053.
- Jaffe V., O'Brien S. 2009. Mechanized equipment for fire and fuels operations. US Forest Service. Montana Department of Natural Resources. Equipment Cooperators. <https://www.wildfirelessons.net> [20.02.2018].
- Karaszewski Z., Łacka A., Mederski P.S., Noskowiak A., Bembenek M. 2016. Damage caused by harvester head feed rollers to different timber species. *Drewno* 59(197): 77–88. DOI 10.12841/wood.1644–3985.C36.08.
- Klein D., Wolf C., Schulz C., Weber-Blaschke G. 2015. 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 20(4): 556–575. DOI 10.1007/s11367-015-0847-1.
- Kormanek M., Kępa M. 2016. Analysis of Performance of Timber Harvesting With the Use of Highlander Harvester. *Agricultural Engineering* 20(3): 73–82. DOI 10.1515/agriceng-2016-0045.
- Kusiak W. 2008. Tendencje na rynku harwesterów i forwarderów w Polsce, w: Romankow J. (red.) Bezpieczeństwo pracy w nowoczesnym leśnictwie. Katedra Inżynierii Środowiska Pracy UP, Poznań, 24–36.
- Kühmaier M., Stampfer K. 2010. Development of a Multi-Attribute Spatial Decision Support System in Selecting Timber Harvesting Systems. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31(2): 75–87.
- Laurow Z., Trzeźniowski A. 2000. Pozyskiwanie w lasach o zróżnicowanym reliefie. *Las Polski* 5: 18–19.
- MBIE 2012. Approved Code of Practice for Safety and Health in Forest Operations. Ministry of Business, Innovation and Employment. Wellington, New Zealand.
- Mederski P.S. 2013. Możliwości zastosowania harwestera do pozyskiwania drewna w mieszanych drzewostanach brzoźowo-sosnowych. Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań, 109 s.
- Mederski P.S., Karaszewski Z., Rosińska M., Bembenek M. 2016. Dynamika zmian liczby harwesterów w Polsce oraz czynniki determinujące ich występowanie. *Sylvan* 160(10): 795–804.
- Mogni O., Grigolato S., Cavalli R. 2016. Harvesting systems for steep terrain in the Italian Alps: state of the art and future prospects. *Contemporary Engineering Sciences* 9: 1229–1242. DOI 10.12988/ces.2016.68137.
- Moskalik T., Stampfer K. 2013. Efektywność pracy harwestera Valmet 911 Snake w warunkach górskich. *Sylvan* 147(4): 91–98.
- Nowacka W., Moskalik T. 2013. The negative effects of working in forestry with special focus on timber harvesting. *Forestry Letters* 105: 85–93.
- Nowacka W., Moskalik T. 2014. Działania w zakresie profilaktyki negatywnych skutków pracy w leśnictwie. Studium przypadków w państwowym gospodarstwie leśnym lasy państwowe / Measures for the prevention of negative effects of forestry work. Case studies in State Forests National Forests Holding. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* 39: 86–93.
- Peters P.A. 1991. Mechanized felling on 40 to 100 percent slopes. *American Society of Agricultural Engineers Paper* 917545: 9 s.
- Poršinsky T., Šušnjar M., Stankić I., Nevečerel H., Šporčić M. 2008. Environmentally Sound Harvesting Technologies in Commercial Forests in the Area of Northern Velebit – Functional Terrain Classification. *Periodicum Biologorum* 110(2): 127–135. ISSN 0031-5362.
- Price M.F., Gratzer G., Duguma L.A., Kohler T., Maselli D., Romeo R. (eds.) 2011. Mountain Forests in a Changing World - Realizing Values, addressing challenges. FAO/MPS and SDC, Rome. ISBN 978-92-5-107076-5.
- Probst M. 2005. Jedem Wald sein Erntesystem. *Forstzeitung* 116(9): 16–17.
- Pröll W. 2001. 150 Harvester in Österreich. *Österreichische Forstzeitung* 6: 6–7.
- Sebulke J. 2011. Holzernte mit Traktionswinden. *Forst & Technik* 3: 20–26.
- Schiess P., Schuh D., Miyata E.S., Mann C.N. 1983. Concept Evaluation of a Walking Feller-Buncher – The Kaiser X5M Spider. Paper presented at the First Technical Conference on Timber Harvesting in the Central Rockies. Colorado State University, Ft. Collins, January 4–6, 50 s.
- Sauter U.H., Mehlin I., Grammel R. 1998. Vollmechanisierte Holzernte am Steilhang mit Vollerntertechnik. *AFZ-DerWald* 53(14): 722–724.
- Slugeň J., Jankovský M. 2012. Environmental aspects of Kaiser S2 harvester utilization in mountain terrains. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 60: 187–198. DOI 10.11118/actaun201260050187.
- Spinelli R., Magagnotti N., Facchinetti D. 2013. Logging companies in the European mountains: An example from the Italian Alps. *International Journal of Forest Engineering* 24: 109–120. DOI 10.1080/14942119.2013.838376.
- Stampfer K. 1999. Influence of terrain conditions and thinning regimes on productivity of a track-based steep slope harvester, w: Sessions J., Woodam Ch. (eds.) Proceedings of the International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium, March 28 – April 1, Corvallis, Oregon, USA, 78–87.
- Stampfer K., Steinmüller T. 2001. A new approach to derive a productivity model for the harvester Valmet 911 Snake, w: Schiess P., Krogstad F. (eds.) Proceedings of the International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium - A Forest Engineering Odyssey, December 10–12, Seattle, USA, 254–262.
- Stampfer K., Rien V., Kanzian Ch. 2006. Cable Corridor Installation Times For European Yarders. *Journal of Forest Engineering* 17: 71–77.
- Strandgard M., Alam M., Mitchell R. 2014. Impact of Slope on Productivity of a Self-levelling Processor. *Croatian Journal of Forest Engineering* 35(2): 193–200.
- Visser R. 2013. Tension Monitoring of a Cable Assisted Machine. Harvesting Technical Note HTN05-11, Future Forests Research Limited, Rotorua, New Zealand, 5 p.
- Visser R. 2016. Cable-Assist in Forest Harvesting: Developments and Operating Limits. (prezentacja) DEMO – Vancouver – 19-21 Sept 2016. <https://www.cif-ifc.org/> [20.03.2018]
- Visser R., Berkett H. 2015. Effect of terrain steepness on machine slope when harvesting. *International Journal of Forest Engineering* 26(1): 1–9. DOI 10.1080/14942119.2015.1033211.
- Visser R., Stampfer K. 1998. Cable extraction of harvester felled thinnings: An Austrian case study. *Journal of Forest Engineering* 9(1): 39–46.

Visser R., Stampfer K. 2015. Expanding Ground-based Harvesting onto Steep Terrain: A Review. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(2): 321–331.

Żabierek R., Wojtkowiak R. 2013. Liczba harwesterów i forwarderów w Polsce. *Drwal* 9: 22–23.

Wykaz źródeł

www.bdl.lasy.gov.pl (Bank Danych o Lasach)

www.menzimuck.com/en/company/history

www.newfor.net [28.02.2018]

www.ponsse.com

Osobisty kontakt

Bałazy Radomir (Laboratorium Geomatyki IBL)

Kapral Jerzy (Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych)

Moilanen Tuomo (Ponsse Plc)

Urbaniak Witold (Profesjonalne Maszyny Leśne)

Wkład autorów

K.J., M.K. – koncepcja pracy; K.J – przygotowanie maszynopisu; M.K. – redakcja tekstu.