

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

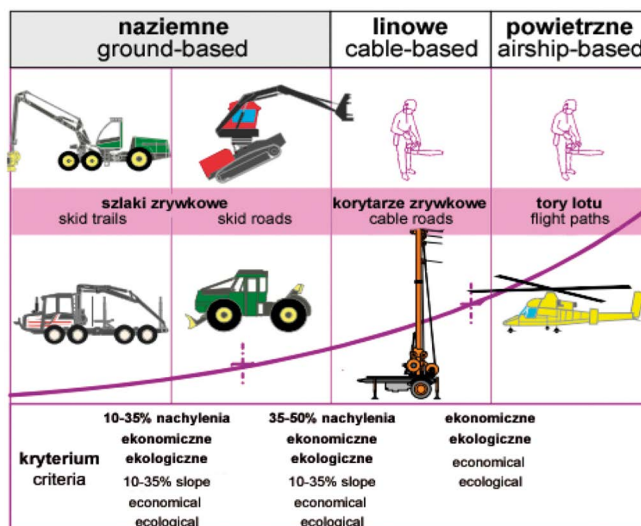
Przy doborze właściwej technologii i planowaniu prac związanych z pozyskiwaniem drewna w warunkach górskich należy brać pod uwagę ograniczenia wynikające zarówno z konstrukcji środków technicznych, jak i z ukształtowania terenu i własności podłoża (ryc. 1, 2). Rodzaj stosowanych technologii zależy od: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

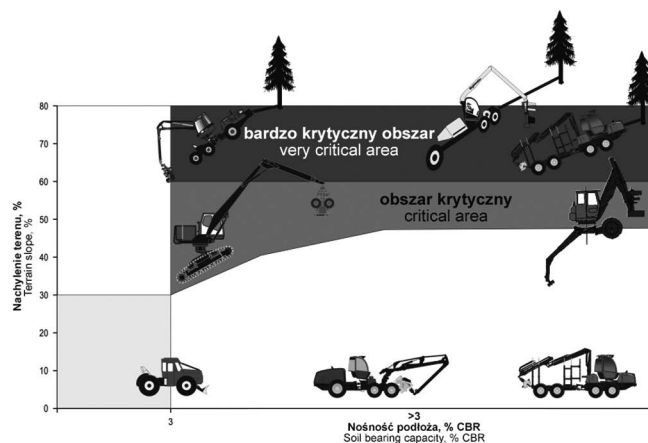
Enache i in. (2015) zwracają uwagę na specyfikę lasów górskich i bogactwo pełnionych przez nie funkcji i usług ekosystemowych. Zauważają, że celem tradycyjnej hodowli lasu jest

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).

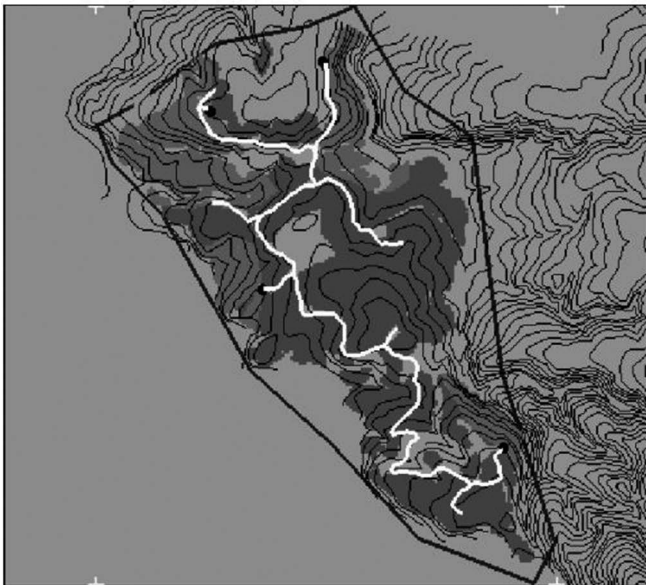
wykonalności i efektywności ekonomicznej. Wybór systemu pozyskania jest utrudniony z jednej strony przez rosnące zainteresowanie półnaturalną hodowlą lasu i jego adaptację do zmian klimatu, a z drugiej przez rosnące zapotrzebowanie na dobrej jakości drewno i drewno energetyczne.

Odrębnym zagadnieniem jest wybór technologii pozyskania w zależności od miąższości i składu gatunkowego drzewostanów. Laurow 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.

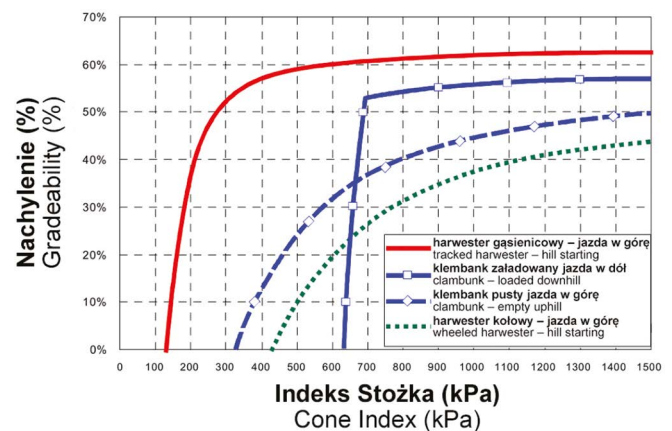
5. Adaptacja maszyn do pracy w warunkach górskich

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

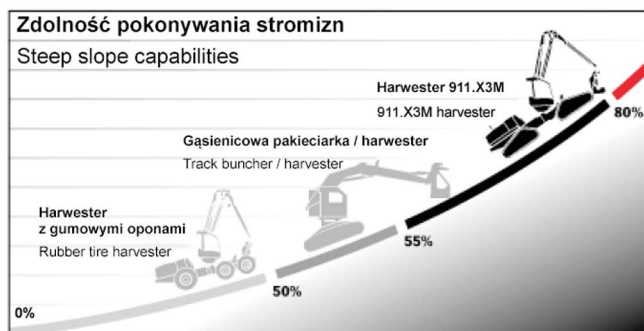
W zależności od stosowanego rozwiązania konstrukcyjnego podwozia, różne są też możliwości wykorzystania harwesterów w warunkach górskich (ryc. 5). Stosowanie większej liczby kół i półgąsienic znacznie zwiększa zakres stosowania tych maszyn na stokach.

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 udźwieg. 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).

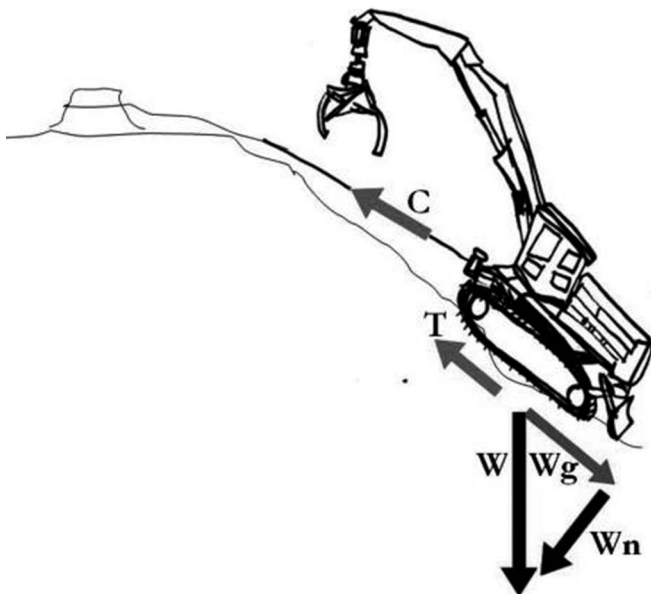
Przeprowadzone na Słowacji badania harwestera kroczącego Kaiser 2 (Slugeň, Jankovský 2012) pod kątem oddziaływania prac pozyskaniowych na środowisko leśne wykazały, że w drzewostanie mieszanym (świerk, jodła i buk) rosnącym na stoku o nachyleniu 70% uszkodzeniu uległo 6,19% pozostałych drzew. Według 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 harvesterach.

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)

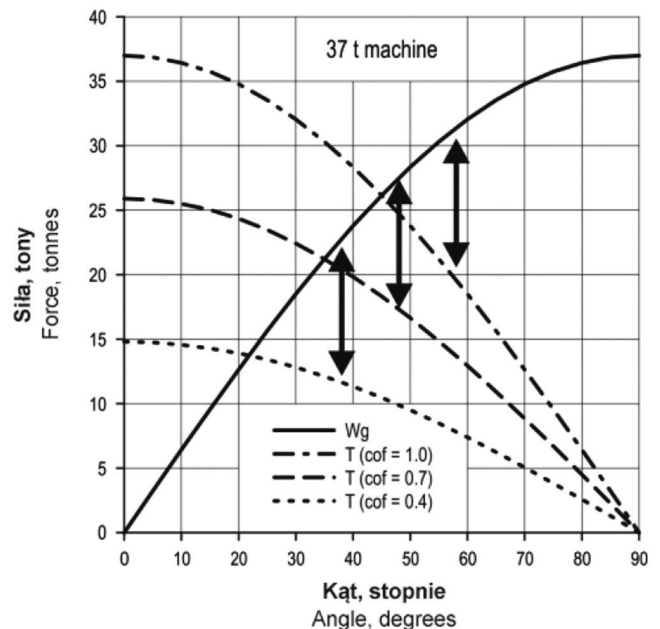
Figure 6. Schematic distribution of forces acting on the machine working on the slope, assisted with a rope: W_g – component of the gravity force W , drawing the machine downhill; T – pull force; C – tension of the winch rope (Visser 2013)

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 strzał 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., Giefling 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., Krogsstad 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., Gratzner 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.

Current possibilities of mechanized logging in mountain areas

Krzysztof Jodłowski* , Michał Kalinowski

Forest Research Institute, Department of Forest Resources Management, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn, Poland

*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

1. Introduction

Price and others (2011) state that mountain forests cover 9 million km², which is 23% of the area of forests growing on Earth. They also point out that forests in Europe occupy 41% of mountain areas, more than half of the Alps, Balkans and Pyrenees. The need to log these areas has resulted in the successful use of harvesters there (Sauter et al. 1998; Heinimann 1999; Moskalik, Stampfer 2003; Probst 2005; Spinelli et al. 2013; Visser, Stampfer 2015), and the wood logged there is skidded by using various technical means, mainly cable yarder and forwarders.

Poland does not abound in significantly differentiated types of mountain forests. Lack of information about stand areas in terms of the slope of the terrain does not facilitate choosing the technology that can be used. With some approximation, the share of upland habitats – 5.9% and mountainous ones – 8.2% of the total forest area in Poland, available on the Data Bank on Forests portal may be used.

Over the last 25 years, the number of specialized machines for harvesting timber, especially harvesters and forwarders, has been systematically growing in Poland (Kusiak 2008; Żabierek, Wojtkowiak 2013; Mederski et al. 2016). Most of these machines work in the lowlands, but increasingly more often, they are used in areas with a varied topography.

2. Specifics of logging in mountain condition

A number of problems are encountered by machines working in mountain areas that do not occur in lowlands, such as:

- increased need for power relating to moving on slopes,
- problems with stability during work and transit,
- large diversity of substrate – from rocky to considerably thick soils, which collect moisture during spring thaws or intense rainfall,
- the large volume of trees obtained during harvesting, often greater than in lowland areas,
- weather conditions influencing the planning and course of logging in mountain areas to a much greater extent than is the case in the lowlands, for example, melting snow, heavy rainfall, which practically stops the work due to the very high risk of erosion.

In the following chapters of this paper, the authors present the technical and technological solutions for the use of machinery to harvest wood in the mountain forests of many countries, focusing mainly on the selection of machinery and technology, planning the work and the adaptive changes made to the machines themselves. Learning about the experiences of using these machines in other countries is worthwhile in terms of the potential of transferring the applied solutions to Poland.

received: 24.06.2018 r., reviewed: 17.10.2018 r., accepted: 4.11.2018 r.

3. Choice of machines and technologies

When choosing the right technology and planning the work of logging in mountain areas, both the limitations due to the construction of the technical equipment, as well as the terrain and the type of ground (Fig. 1, 2) should be taken into account. The type of technology used depends on: the degree of slope, local traditions and the availability of technical equipment.

The NEWFOR¹ project (www.newfor.net) distinguishes seven technologies used in alpine conditions – from the simplest ‘chain saw + horse/skidder’ to the most advanced ‘harvester + forwarder and chain saw + helicopter’. The level of mechanization of the technology used depends on many factors. In addition to the previously mentioned restrictions, the economic aspect should also be taken into account, visible even in the Italian regions of Veneto and Lombardy (data from 2008–2010). The vast majority of logging companies are very small businesses – almost 70% of registered companies in the Veneto region are single-person companies. In turn, about 40% of the companies in Lombardy are very poorly mechanized, having only a small tractor for hauling and transporting timber. 49% of the companies have logging tractors, tracked harvesters (on an excavator undercarriage) and cable yarders, 11% also have forwarders. Austria and Bavaria are found at the other extreme in terms of the level of mechanization of wood harvesting in mountain areas. In Austria, the share of harvesters and processors is definitely increasing, and cable systems (winches and cable cranes) are used for skidding, with a gradual increase in the share of forwarding. In Bavaria, where over 30% of wood harvesting occurred in the Alpine region in 2013, the share of tractors and skidders dropped to 35%, while the share of forwarders remained at 15%. Much depends, therefore, on the wealth of the local community.

The selection of a logging system also depends to a large extent on the density of the existing road network (www.newfor.net). In the case of poor road quality, the second stage of logging – transporting the raw material to the nearest roadside landing accessible to transport vehicles – is significantly extended. Certain limitations relating to mechanized logging and its efficiency in mountain areas include the volume of the harvested trees (if it is too large, it can sometimes make it impossible to use a harvester) and silviculture requirements. Sometimes the factor limiting the mechanization of such work may also be the lack of qualified machine operators

¹The project involved Alpine countries, among others: Austria (Montafon and Tyrol), France, Germany (Bavaria), Slovenia and Italy (the Veneto and Lombardy regions).

Enache et al. (2015) draw attention to the specific characteristics of mountain forests and the richness of their ecosystem services and functions. They note that the goal of traditional silviculture is sustainable timber production, whereas sustainable forest management is a concept that supports the multifunctional role of forests. In this case, the use of selective felling seems to be the right approach, but difficult to apply and debatable in terms of technical feasibility and economic efficiency. The selection of a harvesting system is hindered on the one hand by the growing interest in semi-natural silviculture and its adaptation to climate change, and on the other by the growing demand for good quality wood and wood for energy production.

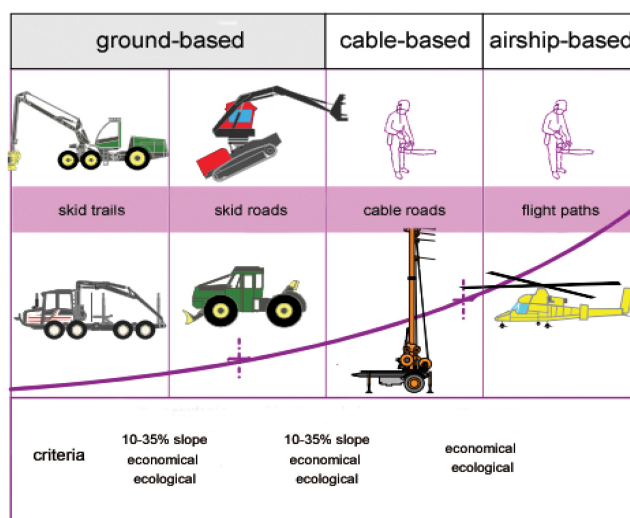


Figure 1. Different concepts of logging depending on the slope (Heinimann 1999)

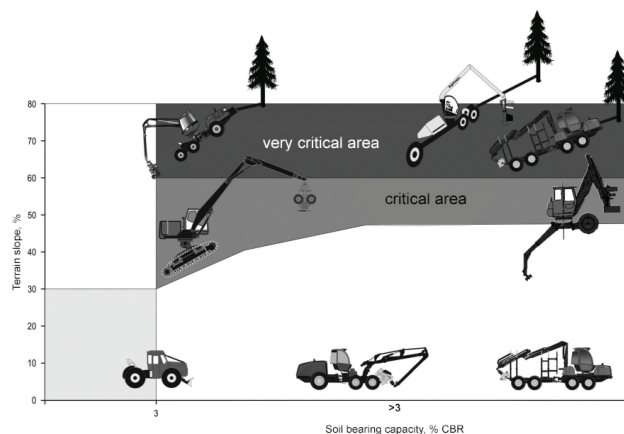


Figure 2. Safe scope of work of ground-based wood harvesting machines depending on the slope [%] and bearing capacity of the ground, measured by the California Bearing Ratio – CBR (Heinimann 1995 after Visser, Stampfer 2015)

A separate issue is the selection of harvesting technologies depending on the volume and species composition of tree stands. Laurow and Trzeźniowski (2000) emphasize that the harvesting process should be preceded by a thorough analysis of the impact of individual organizational, technical and technological solutions on the environment.

4. Planning the harvesting work

4.1. Choosing the right harvesting technology depending on accessibility to the stand and other selected parameters

In mountain areas, the most important factor affecting the selection of the right technology for harvesting timber is accessibility to the land (Heinimann 2000). The transport of wood is divided into two closely related stages, conducted in the stand and on transport roads. With greater frequency, special software is used to plan the work, providing support to the decision making process on building roads, determining the location of landing sites and deploying wood harvesting equipment – skidders, cable cranes (Heinimann 1998; Epstein et al. 2001; Grigolato et al. 2017). Such systems are developed based on the data from GIS databases and powered by them (Fig. 3).

Based on a numerical terrain model and road network as well as inventory data and boundary parameters for different logging systems, Poršinsky et al. (2008) developed a functional terrain classification for selecting harvesting technol-

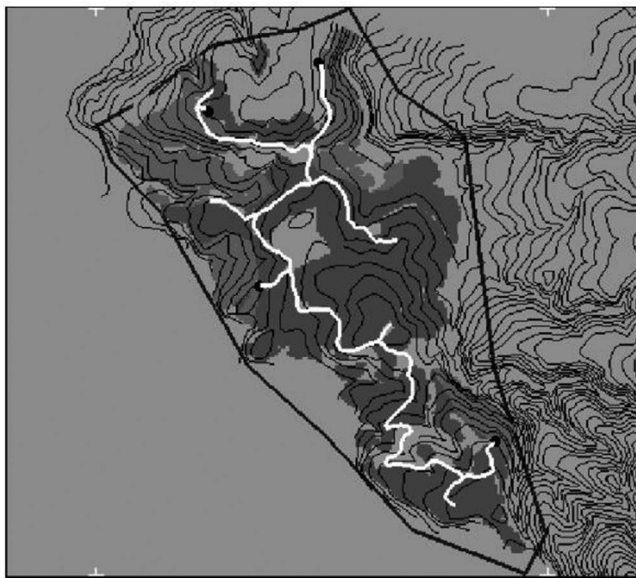


Figure 3. The effect of using the PLANEX system for planning harvesting tasks. Roads are marked in white, dark areas are tree stands for skidders and bright for cable cranes. (Epstein et al. 2001).

ogy. The model for selecting an environmentally protective harvesting system for the managed forests of northern Veljebit (Croatia) takes into account three factors: slope, skidding distance and average diameter at breast height of the stand. On the basis of the developed model, the harvesting system was determined for each forest stand. The results show that DBH size limits the mechanized harvesting and delimiting of the wood. It turned out that fully mechanized harvesting systems could only be used on 7.27% of the studied area. In the analysed case, ground-based logging dominated.

In turn, Kühmaier and Stampfer (2010) developed a decision-making support system in selecting wood harvesting technologies and correcting the road network. The system was used to select the best technologies for obtaining and estimating the environmentally protective, economic and social effects of their application, after correcting the road network. The model was implemented in a steep terrain in an area of 1100 ha of forests in the southern part of Lower Austria. The positive effect of using a cable-assisted forwarder on efficiency, CO₂ emissions and stands was noted. The authors found that the combination of increasing forest road density and deployment of cable-assisted forwarder technology led to tripling of productivity, an increase in the contribution margin from 40 to 56 EUR/m³, as well as a reduction in stand damage rate by 53% and injury rate by 93% for the analysed forest company. No other option brought such high benefits. However, increasing the road network density may be difficult to implement, due to social pressure requiring the more selective type of logging forest stands and limited road infrastructure (Stampfer et al. 2006).

The density of the road network affects the possibilities of using skidding resources. Optimum network density is associated with the amount of wood to be obtained from one hectare, the cost of road construction and the size of a single load of harvested timber. Under the conditions in Austria, Ghaffariyan et al. (2007) determined the optimal road density at 19.9 m/ha, with the following assumptions: average forwarder load – 8.25 m³, harvested volume – 100 m³/ha and road construction cost – 20 EUR/m. Assuming that the machine will always skid a full load (17.5 m³), the road density could be lower – 13.5 m/ha. The inclination of the slope on the study site surface was 11%.

With similar assumptions regarding harvesting and road construction costs, Ghaffariyan et al. (2010) determined the optimal distance between roads in the event of skidding using the Wanderfalke tower yarder with a cable length of about 500 m. The results obtained for one-way and two-way hauling are 261 and 374 m respectively. The authors noted that harvesting costs for one-way uphill hauling drop sharply when the distance between roads increases from 20 to 230 m; while in the range from 230 to 290 m, they decrease only by 0.16 EUR/m³, which is an indication for those planning to modify a forest road network.

When planning logging work in mountain areas, the economic constraints of different technologies should be remembered. Heinimann (1998) modelled the costs of two logging systems – a skidder and using a cable yarder, depending on the slope of the terrain (30% and 60%) and road network density. With the parameters set by the author, among others, a main cable system length of 500 m, the model suggested choosing a cable crane when the hillside slope was more than 42%, and a skidder when the road network density was above 25 m/ha.

When planning harvesting work and related potential road investments, the protection of the following elements should be taken into account (Heinimann 2000):

- catchment area – road construction and applied logging technologies may pose, among others, the threat of erosion and landslides;
- habitat – harvesting and skidding timber directly affects the soil, causing erosion and compaction. The mechanical properties of the soil depend on its water content. Disruption of the soil structure can be prevented in three ways: avoid driving machines on the soil surface when the soil moisture is high, use low-pressure tires, and limit the number of machine trips along the logging routes;
- employee safety – forestry is a sector with high accident rates. Manual-machine technologies are particularly dangerous;
- natural resources – production processes involve the consumption of materials, energy and the release of waste into the environment. LCA² analyses are becoming significantly more important in this case. The later works of Heinimann et al. (2012) and Klein et al. (2015) showed that LCA analyses are not widely used to assess forestry work, focusing more on the invested energy and bypassing the environmental burden.

The authors of this paper propose one more element, whose protection should be taken into account – the populations of the animals and plants living in a given area.

4.2. Availability of the technology

The extent of using the modern technologies of ground-based technical equipment (harvesters, skidders, forwarders) is still low in the mountain areas of some countries. Survey studies conducted in the Italian Alps of the Lombardy region showed that cable systems are most often used by logging companies (Mologni et al. 2016), and only three forwarders and one skidder were operating in the area included in the study. This is confirmed by the results of research conducted several years earlier (Spinelli et al. 2013). The most popular

systems were sled yarders (almost 65% of all cable systems), used for skidding down a slope for a distance of 800–850 m. The share of mobile cable cranes with spars and cable systems with carriages with their own drive was 15%, while mobile cable carriages without a spar accounted for less than 5%.

According to the authors, an alternative to cable systems currently used in the Italian Alps could be ground-based machines belayed with synchronized winches that can work on hillsides with up to a 60% slope (Visser 2016). This would mean limiting the use of cable yarders to very steep slopes, although the size of the slope itself is not the absolute measure of using a given technology, but also its morphology and relief. Cable logging systems are, however, more expensive than ground-based systems (Ghaffariyan et al. 2007).

4.3. Slope and other properties of the terrain

Cable technologies dominate in logging timber in mountain areas, but the use of ground-based, wheeled or tracked machines is becoming more common (Visser, Stampfer, 2015). One of the factors limiting their use is the slope of the terrain. Initially (FAO/ECE/ILO 1971 cited in Visser, Stampfer 2015), practical limits were set for skidding logs downhill for wheeled skidders at 50%, and tracked skidders at 60%, depending on the terrain. Subsequent experiments have shown that due to the risk of soil erosion, however, these values should be limited to 30% and 40% respectively (Peters 1991 in Heinimann 1999; Visser, Stampfer 2015). Research conducted on 22 machines in New Zealand (18 machines), Austria (2 machines) and Norway (2 machines) showed that modern machines often exceed the limits adopted in New Zealand – by 17% (~38%) and 22% respectively (~50%) (Berkett, Visser 2012; Visser, Berkett 2015).

Sometimes manufacturers provide guidelines on the traction abilities of machines on their websites. According to Komatsu (after Visser, Stampfer 2015), machines secured with a winch can work on hillsides with a slope of up to 55%. Cavali and Amishev (2017), citing Cavali (2015), accept the following slope limits (Table 1).

In addition to the slope of an area, the bearing capacity of the ground (Heinimann 1999; Strandgard et al. 2014) and its local relief (ruggedness) – rifts, boulders and so on (Amishev et al. 2009; Cavali, Amishev 2017) – are also important elements affecting a machine's ability to work, as well as the presence of stumps (Visser, Berkett 2015).

In Heinimann's research (1999), three machines were considered in terms of the dependence between climbing ability and undercarriage properties: the IMPEX 'Bengal Tiger' tracked harvesting machine, the Timberjack 1270B wheeled harvesting machine (with 600/55–26.5 tires), and the FMG 1710 (with 800/40–26.5 tires) clambunk skidder.

²LCA is the Life Cycle Assessment.

Table 1. Slope limit [%] for different types of forest machines

Type of machine undercarriage	Harvesting	Skidding	Forwarding
	[%]		
Wheeled, equipped with chains and half-tracks	35–45	35–45	30–35
With trapezoidal caterpillars	50–70	-	-
Tracked	45–60	45–55	35–45
Wheeled-walking	60–80	-	-
Winch-assisted machine	75–85	75–85	75–85

The author notes that in most textbooks on forestry work, machine mobility limits are provided in relation to the maximum agreed slope gradient. The test results presented in Figure 4 show that slope gradient alone is not a sufficient criterion and that soil properties should also be taken into account, especially under low load bearing conditions.

5. Machine adaptations for work in mountain areas

5.1. Improving stability

Machines designed for working in mountainous conditions require modifications in two areas: to improve the stability of the machine while working on the slope and to improve its ergonomics. Issues relating to ergonomics were resolved in the United States in the 1980s. Tracked excavators were adapted for forestry work there, and instead of buckets, they are equipped with felling heads, processors, harvester heads or grippers. Some of these machines already had a levelled cabin and a crane. Such design solutions improve operational capabilities and are more efficient than machines without levelled cabins (Schuess et al. 1983 in Visser; Stampfer 2015; Stampfer 1999 in Amishev, Evanson 2010). A levelled cabin, and especially a levelled crane column, is also important due to the durability of the equipment's elements – when a crane column is tilted from the vertical, an additional torque is added to the construction/structure during rotation.

While the first solution for levelling cabins had a manual-mechanical control, the actions of an operator are now replaced by automatic mechanisms. The standard also includes levelled, swivel seats, full cabin glazing and cameras to improve visibility during work. The cabin follows (to a certain extent) the movements of the crane, reducing the exertion of neck muscles.

A much more difficult issue is to ensure the stability of the machine while working on a slope, that is, controlling the position of the centre of gravity. The levelling of the

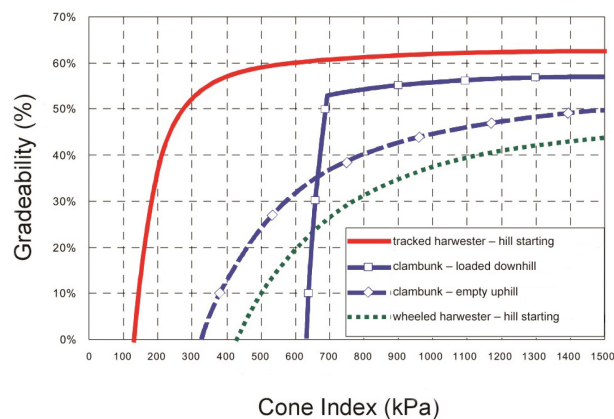


Figure 4. Slope climbing ability for tracked and wheeled machines depending on the ground properties determined using the Cone Index (Heinimann 1999)

cabin and crane, used in forestry machines with a tracked undercarriage, also changes the position of the centre of gravity of the entire structure, improving its stability.

In addition to levelled cabins, which only improve the operator's comfort, wheeled machines use other solutions to maintain stability. One of the most common is to increase the number of wheels to eight, group them in tandems (bogie axles) and equip them with half-tracks. The use of tandems makes it much easier to overcome small obstacles – stumps, hollows and so on, reducing the lateral tilting of the machine (harvester or forwarder). The tandems make the machine lean out half as much as it would with a single wheel.

Sometimes, additional hydraulic cylinders are used to lift the wheels in the front tandem. This temporarily transforms the eight-wheeled machine into a six-wheeled machine, but it makes it easier to overcome uneven terrain, such as ditches.

5.2. Changes to the undercarriage chassis

Depending on the solution used for the undercarriage construction, the possibilities of using a harvester in mountain-

ous conditions are also different (Fig. 5). The use of more wheels and half-tracks significantly increases the scope of the use of these machines on slopes.

An example of a harvester with a specialized undercarriage is the Valmet 911 ‘Snake’ (Moskalik, Stampfer 2003) – a tracked machine specially designed for harvesting wood in mountain stands. The modification of the standard Valmet 911 wheeled harvester consisted of replacing the wheels with four trapezoidal, independently moving 50 cm wide caterpillar tracks. Field studies conducted in Austria (Stampfer, Steinmüller 2001) showed that a machine constructed this way can more easily overcome various uneven terrain and work on hillside slopes of up to 70% than a standard two-track harvester (on an excavator undercarriage).

About 50% of harvesters in Austria (Pröll 2001 in www.newfor.net) are equipped with caterpillar tracks. Their use reduces the pressure of the machines on the ground and enables work on hillsides with a higher slope. This also applies to harvesters built on the basis of tracked excavators. It is important for the harvester to leave the branches and tops of trees on the logging road. They not only protect the soil – the depth of soil deformation decreased from 14 cm to 10 cm – but the material crushed by the machines more easily mineralizes (Duszyński, Walczyk 2009).

An interesting solution improving the stability of wheeled harvesters during work is a machine constructed by the Ponsse company – the Scorpion King harvester. Unlike other wheeled harvesters, it has a three-piece articulated frame, with a cab and a crane mounted in the middle part. This allows the centre of gravity to be lowered, as well as the cabin and crane to be levelled during work. This is controlled by an extensive sensor system. Sensors located between the cab and the crane monitor the rotation direction of the crane, while the sensor located in the lower part of the crane controls its position. The stabilization system is also active while driving, providing the operator with comfortable conditions while the machine is moving.

Wheeled-walking harvesters are another design innovation, constructed on the basis of excavators designed to work in very difficult terrain. An example of such solutions are the machines proposed by Menzi Muck AG and Kaiser (Kaiser S3 Spyder), which are technically very similar. Each of the four wheels is independently suspended on outriggers additionally equipped with various spurs, so that each of these machines maintains high stability while working in difficult terrain. Instead of a harvester head, the crane can be mounted with timber handling grippers. In difficult conditions, these machines often have to support the stabilizers that carry their entire load (Amishev, Evanson 2011), which is why their weight is not large, reaching a maximum of 12–13 tonnes. They have high swing torque and a large lifting capacity. In this respect, they have operating parameters simi-

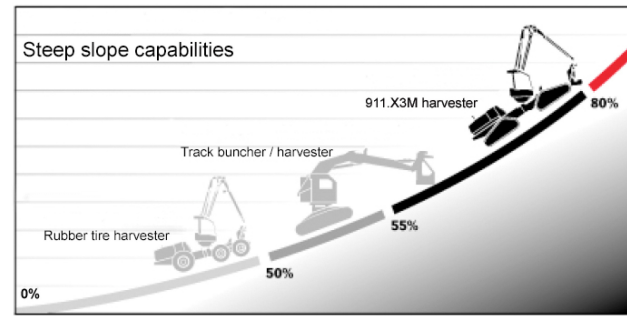


Figure 5. Different types of harvester undercarriage and their capabilities to work on steep slopes (Jaffe, O'Brien 2009 after Ghaffarian et al. 2012)

lar to a 20-tonne tracked excavator. Some of these machines are also equipped with a winch.

Due to their specific characteristics (mainly low mass), wheeled-walking machines have cranes with a reach of about 8 m, which is small in comparison to other harvesters. As a result, they have to move more often (Amishev, Evanson 2011).

A study of the walking Kaiser 2 harvester conducted in Slovakia (Slugeň, Jankovský 2012) showed that in terms of the impact of logging on the forest environment, 6.19% of the remaining trees were damaged in a mixed stand (spruce, fir and beech) located on a slope with an inclination of 70%. According to the authors, this is acceptable compared to the results of other studies. Most soil damage in the form of ruts up to 15 cm deep was recorded under the supports. However, the authors did not evaluate this negatively, because these deformations were not continuous and would not result in soil erosion during heavy rainfall. Low soil compaction was also noted in the ruts.

Another interesting solution of a harvester developed exclusively for work in mountains is a proposal from the Konrad company, the Highlander harvester. The elements characterizing this machine is a telescopic frame and steering wheels. Konrad proposes not only a harvester, but basically a complete system that allows logging by the assortment method of both wood and whole logs, with the simultaneous skidding of the obtained raw material using a remote controlled trolley for short or whole timber removal. The harvester itself can also work in a harvester-clambunk version, after mounting bunk grapple on the frame (Kormanek, Keřa 2016).

5.3. Winch-assisted machines

As Visser (2013) notes, the beginnings of securing machines working on slopes using cables occurred in the army, which tested them in the 1950s. In European forestry, this

solution emerged in the 1990s (Sebulke 2011), when a number of companies began offering integrated winches (built-in) with machines or mounted on machines. Initially, they were used on forwarders, later also on harvesters.

In order for a machine to be able to move uphill, the traction force T should be greater than the force Wg pulling the machine (Fig. 6). If the value of Wg for a given hillside slope remains essentially unchanged, then the pull force value depends on the parameters of the ground. For example, for a moist, soft substrate, it is 0.4, and for a dry and stable substrate – 1. The coefficient of traction depends on the type of machine, because tracks have a greater coefficient of traction than wheels. Rainfall can significantly reduce the value of this coefficient. Figure 7 shows how these parameters affect machine operation capabilities. In the case of a soft, moist substrate (CoT = 0.4), the analysed machine can run alone on a slope with an incline of up to 20%. However, if the coefficient has the maximum value (CoT = 1), then the maximum slope value increases to around 45%.

The use of a winch supporting the machine's movement allows it to improve traction conditions and to work on hill-sides with a steeper slope and the same substrate. In the case analysed by Visser (2013), an 'investment' of approximately 100 kN allows the hillside's slope to increase (e.g., for CoT = 0.4) from 20 to 40% (Fig. 7). Shear force is also significantly reduced. The winch can be mounted on the machine or on external mobile equipment.

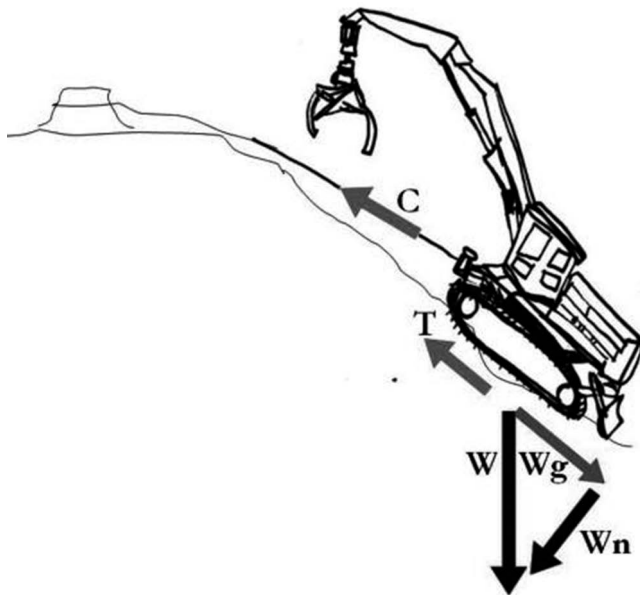


Figure 6. Schematic distribution of forces acting on the machine working on the slope, assisted with a rope: Wg – component of the gravity force W , drawing the machine downhill; T – pull force; C – tension of the winch rope (Visser 2013)

The winch on a machine (Sebulke 2011; Visser, Stampfer 2013) can be built into the construction (most often under the crane in the case of forwarders) or mounted on its exterior to the machine frame (front or rear), which allows the winch to be disassembled when not needed. However, this always involves a significant increase in the weight of the machine, sometimes by nearly two tonnes, and an increase in power demand. Some modifications of the machine itself are also required, relating to the control system and the guiding of the cable, so that it does not break or pull on the ground. There are different approaches to anchoring a winch cable; in Europe, it can be attached to a growing tree, while in the southern hemisphere it can be attached to a trunk, a stake or a parked machine (bulldozer, excavator).

In the case of an external winch, it can be mounted on a self-propelled carrier or a tracked excavator, and sometimes even a tower yarder, usually used for skidding.

For safety, some systems use double drum winches, and the machine is then better protected. Cable tension should also be controlled. The forestry operations' safety rules developed in New Zealand (MBIE 2012) recommend that the cable tension should not exceed 33% of the breaking force. Visser (2016) stated that the biggest jumps in cable tension occur when the machine is moving, not when cutting or laying the raw material. The research of Holzleitner et al. (2018) provide slightly different conclusions, based on an analysis of the work of two machines supported by cables:

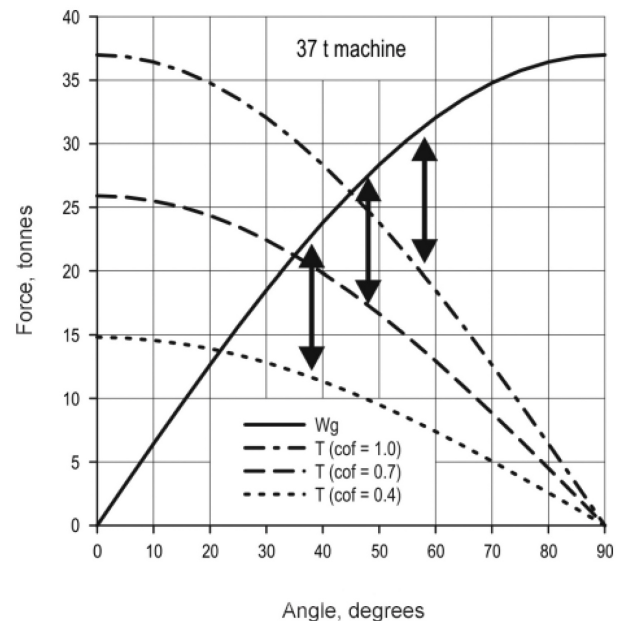


Figure 7. Influence of different coefficients of traction (CoT) and slope on tractive force (T) and rope tension (Wg) for a machine weighing 37 tons (Visser 2013)

a John Deere 1170E harvester and a John Deere 1110E forwarder. The greatest tension on the line in the case of the harvester occurred during tree felling and delimiting. In the case of the forwarder, the highest line tension was observed during breaks of less than 15 min. and driving during loading. However, the maximum cable tension did not exceed 50% of the breaking force value in either case.

The advantages of using cable support are quite significant, as above all, it guarantees safety (Cavalli, Amishev 2017). Supporting the machine with a cable improves the operator's comfort and creates a safe working environment, reducing the stress associated with working on a steep slope. These authors also point out that the use of cable support can improve the financial stability of the company and its competitiveness, among others by:

- improving the quality of the obtained raw material, reducing soil damage and so on,
- increasing the attractiveness of the work (improving the comfort and safety of the work), which can be an incentive for potential employees, as well as a factor in their decision to stay with the company,
- versatility – the technology can be used in various equipment configurations, allowing one to work in different conditions without the need to look for qualified employees to operate cable carriages,
- facilitating regeneration work due to a cleaner work area (less scrap and logging residues).

Logging with the use of a chain saw is considered one of the heaviest of physical work (Nowacka, Moskalik 2013; Nowacka, Moskalik 2014). It is becoming increasingly difficult to find suitably qualified employees, especially for the demanding work in mountain areas, hence the need to introduce mechanical solutions (Berry 2016).

6. Summary and conclusions

Modern technologies allow wood to be obtained in almost all types of terrain, including hard-to-reach mountain areas. However, not all of the technical equipment used for this purpose is available in Poland. The number of harvesters and forwarders is systematically increasing, but adapted machines (equipped with synchronized winches), or those designed for work on hillsides with high slopes are still missing. In addition, there are practically no (apart from single instances) cable carriages that would enable logging on very steep, difficult to reach slopes. Logging in Poland is mainly done by private companies, so purchasing such specialized technical equipment can be too expensive and a risky investment for them.

Mountain habitats occupy 8.2% of the forest area in Poland. Their small share may be a reason for the low interest

in the broadly understood mechanization of logging work in stands growing in these habitats. Presently, traditional technologies are mainly used there, consisting of cutting trees with a chain saw and hauling delimited stems with an agricultural tractor or skidder, with the production of assortments on small, often temporary, landing areas along transport roads. However, multi-function machines – harvesters and forwarders – are being used with greater frequency.

The possibilities of using multifunctional machines in mountain areas are associated not only with the slope of the terrain, but also with many other factors, including: ruggedness of the terrain, availability of transport routes, type of substrate and season (mainly associated with soil moisture and related load bearing capacity) and the availability of technical equipment.

Therefore, Forest Districts must accurately inventory tree stands to determine the possibility of deploying available harvesting technologies. The examples presented in this paper show that the tools exist to conduct such an inventory and perform the needed analyses.

While the use of a chain saw to log trees (and possibly to prepare assortments) and the cable crane for skidding have a fairly wide range of applications – from wood cutting to pruning or thinning – the use of harvesters for logging timber in stands with deciduous species becomes problematic, especially in older age class stands. As Mederski et al. (2016) indicate, mountain areas characterized by a high proportion of deciduous species are not ‘attractive’ for harvesters. The attempts made in our country to use them for harvesting mainly deciduous species (Mederski 2013; Bembenek et al. 2015; Karaszewski et al. 2016) confirm this thesis. Deciduous trees growing in our climate zone often produce thick boughs, which are quite problematic when they are delimited by harvester heads. This affects not only the quality of the delimiting process itself, but also the accuracy of the length of the assortments made and insufficient use of the timber for the assortments. For example, delimiting the Polish ecotype of the birch may be less effective compared to the Scandinavian ecotype (Mederski 2013; Glöde 1999 in Mederski et al. 2016). Therefore, mountain habitats with a large proportion of deciduous species should be excluded mechanized logging.

The opinion expressed by Mederski et al. (2016) that harvester heads will soon be developed to solve these problems is difficult to accept. Modern harvester heads use solid steel knives for delimiting. The delimited tree is pulled through the head by means of feed rollers. As the thickness of the branches to be cut increases, so does the force required to cut them. Delimiting very thick branches often results in serious damage to the wood, even in the case of conifers. The feed rollers mill the surface of the wood being processed. The

occurrence of large curves and thick branches makes it difficult to delimit a stem/trunk to the end of the log, and hence, the ‘shift’ of the valuable part of the timber to medium-sized wood, and sometimes even to fuel wood.

Another limitation is the size of the harvested trees. It was noted that some of the spruce trees to be harvested had diameters that were too large to be cut by a thinning-felling harvester. A similar observation was noted during the implementation of the NEWFOR project discussed earlier. Mountain stands require large felling harvesters equipped with appropriate harvesting heads. The use of forwarders is basically limited only by terrain conditions, mainly slope and substrate properties.

Mountain stands in Poland in many cases are undergoing conversion, which also results in technical and technological problems. The protection of regenerated sites requires a combination of different harvesting technologies, and in many of them, the use of manual-machine (chain saw) and machine (harvester) technologies.

Conflict of interest

The authors declare no potential conflicts of interest

Acknowledgments and source of funding

The project ‘Possibilities of using multifunctional machines for logging in the mountain areas of Poland’ was financed from the research fund of the Forest Research Institute. Project no.: 26 04 02.

References

- Amishev D., Evanson T. 2010. Innovative methods for steep terrain harvesting, in: 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.
- Bembek M., Mederski P.S., Karaszewski Z., Łacka 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, in: 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, in: 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, in: 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, in: 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, in: Romankow J. (ed.) *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 brzoźnososnowych. 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.
- Mologni 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 profilaktyk 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., Gratzner G., Duguma L.A., Kohler T., Maselli D., Romeo R. (editors) 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, in: 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, in: 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 forwalerów w Polsce. *Drwal* 9: 22–23.

List of sources

www.bdl.lasy.gov.pl (Bank Danych o Lasach)
www.menzimuck.com/en/company/history
www.newfor.net [28.02.2018]
www.ponsse.com

Personal contacts

Bałazy Radomir (Laboratorium Geomatyki IBL)
 Kapral Jerzy (Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych)
 Moilanen Tuomo (Ponsse Plc)
 Urbaniak Witold (Profesjonalne Maszyny Leśne)

Authors' contribution

K.J., M.K. – concept; K.J – manuscript preparation; M.K. – editing.