

# Wpływ parametrów harwestera na warunki glebowe – identyfikacja zbioru czynników

*Łukasz Lewaszkiewicz, Andrzej Grieger*

**Streszczenie.** Naturalną konsekwencją rozwoju człowieka jest wprowadzanie innowacji technologicznych. Nowe technologie mają na celu ułatwienie pracy w różnych dziedzinach gospodarki. Prace leśne, a zwłaszcza pozyskaniowe, zaliczane są do jednych z najbardziej uciążliwych. Najnowocześniejsze rozwiązania technologiczne oparte są na maszynach wielooperacyjnych. Ich wykorzystanie w znacznym stopniu eliminuje uciążliwość prac zwiększając jednocześnie negatywny wpływ na środowisko leśne. W celu zmniejszenia ryzyka degradacji ekosystemu, operator harwestera musi posiadać wiedzę na temat możliwości technicznych tych maszyn.

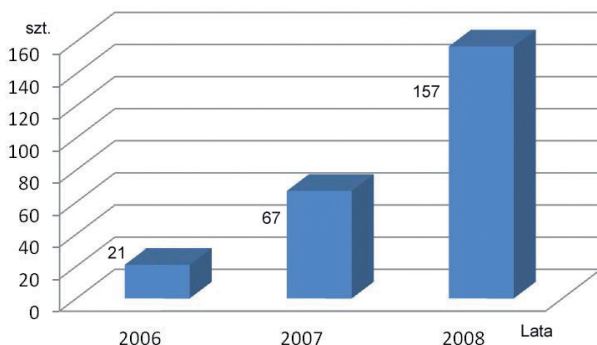
**Słowa kluczowe:** układ jezdny, harwester, mechanika gleby, ukształtowanie terenu

**Abstract. Influence of parameters of harvester on soil conditions – the identification of a set of factors.** The natural consequence of human development is the introduction of technological innovations. New technologies are intended to facilitate work in various areas of the economy. Forestry work, especially indigenous, are classified as one of the most arduous. Cutting-edge technology solutions are based on multiple operating machines. Their use largely eliminates the nuisance of work while increasing the negative impact on the forest environment. In order to reduce the risk of ecosystem degradation harvester operator must be knowledgeable about the technical capabilities of these machines.

**Keywords:** chassis, harvester, soil mechanics, terrain

## Wprowadzenie

Podstawą do stwierdzenia, że harwestery mogą stanowić zagrożenie dla środowiska leśnego jest fakt, że liczba maszyn wielooperacyjnych w Polsce wciąż wzrasta. Między rokiem 2001 a 2007 zanotowano prawie siedmiokrotny wzrost liczby harwesterów w Polsce z 10 do 67 sztuk. Według Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych (DGLP) (Kusiak 2008) na koniec lipca 2008 roku znajdowało się już 157 sztuk. Zastosowanie technik harwesterowych w Polsce, pomimo znacznego wzrostu w roku 2007 (ryc. 1), w dalszym ciągu znajduje się w fazie początkowej. W Europie obecnie pracuje ponad 7 000 harwesterów z czego 70% z nich przypada na kraje skandynawskie. Wszystkie produkowane w chwili obecnej harwestery wyposażone są w komputery pokładowe odpowiadające za sprawną pracę maszyn. Biorąc pod uwagę szeroki asortyment maszyn wielooperacyjnych należy zwrócić szczególną uwagę na dostosowanie parametrów do warunków terenowych, w jakich przyszło im pracować (Lisowski 2007).



**Ryc. 1.** Liczba harwesterów w Polsce w latach 2006-2008 (wg DGLP)  
*Fig. 1.* Number of harvesters in Poland in 2006-2008 (according to DGLP)

## Podatność gleby na odkształcenia

Stopień deformacji gleby pod wpływem działającego obciążenia, a w następstwie zmiany jej właściwości fizycznych i mechanicznych zależy od wielu czynników. Do najważniejszych z nich należą:

- czynniki zewnętrzne – nacisk jednostkowy wywierany na glebę,
- rodzaj i właściwości tworzywa glebowego.

Deformacja gleby pod wpływem ugniatania zależy w dużym stopniu od jej wilgotności. W związku z powyższym gleba jest podatna na zagęszczenia zwłaszcza wiosną. Wytrzymałość gleb leśnych zwana nośnością jest niewielka. Jeśli więc nacisk elementów jezdnych pojazdu na grunt jest większy niż jego wytrzymałość, to podłoże ulega odkształceniu. Zgniatanie gruntu jest proporcjonalne do siły nacisku. W wyniku odkształceń gruntu tworzą się koleiny. Nie ulega wątpliwości, że maszyny do pozyskiwania drewna, aby zachować stateczność, muszą mieć znaczną masę rzędu nawet 20 t, oraz duży rozstaw elementów jezdnych, tj. 2,8\*7,8 m (szer\*dł). W zależności od rodzaju gleby możemy wyróżnić cztery przedziały nacisków jednostkowych w [N/cm<sup>2</sup>]:

- spulchniona – od 5 do 15,
- średnia uleżała – od 16 do 70,
- ciężka uleżała – od 71 do 110,
- ciężka uleżała sucha – od 111 do 200.

Nośność gleb leśnych jest bardzo zróżnicowana i wynosi 20 kPa dla gleb bagiennych, do 200 kPa dla piasków wilgotnych. Większość maszyn leśnych wywiera na glebę nacisk rzędu 50-300 kPa. Wielkością progową, powyżej której poważnie należy traktować skutki nacisku, przyjmowana jest wartość 70-100 kPa. Badania prowadzone przez naukowców ze Stanów Zjednoczonych dla harwestera Timberjack 1270 B wykazały, że dla średniego wychylenia żurawia wynoszącego 4,5 m, naciski jednostkowe uzależnione są od pozycji pracy maszyny i wynoszą od 22,1 do 85,2 kPa. Oprócz obciążeń statycznych występują także siły dynamiczne powstające w wyniku przyspieszenia bądź hamowania maszyny. Siły te powodują uszkodzenie wierzchnich

warstw gleby. Jednym z następstw poruszania się harwesterów po powierzchni leśnej jest zwiększenie się zagęszczenia gleby. Szczególnie podatne na zagęszczenie są gleby o małej zawartości iltu. Ich warstwy powierzchniowe często zawierają mało wody. Warstwy znajdujące się poniżej są mocno wilgotne. Duża wilgotność zwiększa podatność na zagęszczenie. Niestety zagęszczenie w niższych partiach profilu glebowego jest zazwyczaj procesem nieodwracalnym (Więsik 1991).

## Układ jezdny harwestera

Ze względu na układ jezdny harwestery możemy podzielić na cztero-, sześć-, ośmio-kołowe lub gąsienicowe. Mało popularne są jeszcze harwestery kołowo-kroczące. Maszyny wielooperacyjne na podwoziu kołowym mogą pracować na stokach o nachyleniu do 40%, natomiast na podwoziu gąsienicowym do 70%. W podobnym zakresie jak harwestery gąsienicowe mogą pracować maszyny kołowo-kroczące widoczne na fot. 1, których koła są umieszczone na końcach niezależnie sterowanych wysięgników. Układy te występują w różnych konfiguracjach przedniego i tylnego zawieszenia. Może być to układ w którym zarówno oś przednia jak i tylna są zamocowane na sztywno do ramy pojazdu. Zastąpienie sztywnego mocowania może nastąpić przez zastosowanie układu czterech niezależnych wahaczy sterowanych siłownikami hydraulicznymi. System ten wyposażony jest dodatkowo w specjalne łapy, umożliwiające wspinięcie się maszyny po stokach o dużym nachyleniu.

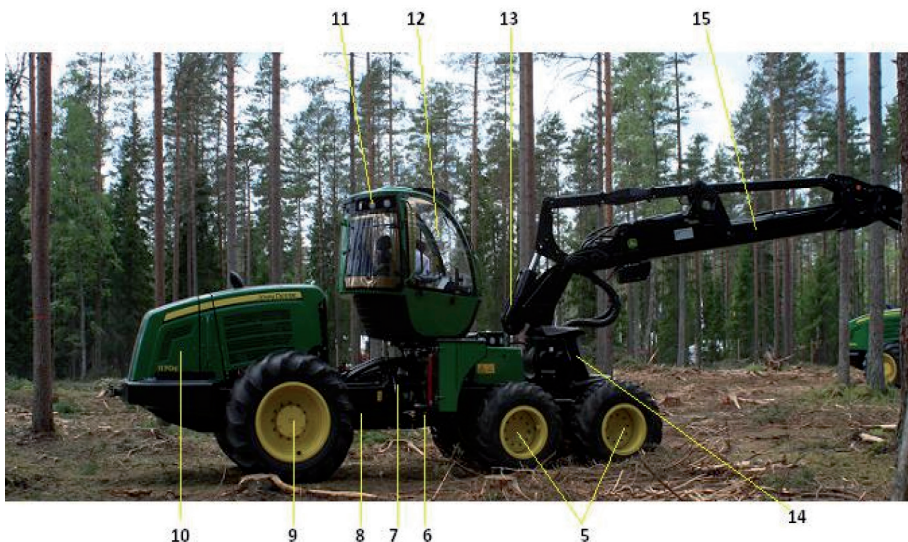


**Fot. 1.** Układ jezdny kołowy z łapami pomocniczymi. Targi ELMIA WOOD 2009 (fot. Łukasz Lewaszkiewicz)

*Photo 1. Scheme wheel with paws – 2009 ELMIA WOOD fairs*

W tym rozwiązaniu dodatkowo siłowniki hydrauliczne umożliwiają zwiększenie rozstawu kół przednich w szczególnie trudnym terenie i tym samym zapewniają lepszą stabilizację maszyny podczas wykonywania operacji obróbczych.

Innym rozwiązaniem jest zastąpienie przedniego mostu osiami wahliwymi typu bogie widocznymi na ryc. 2. Charakterystyczną cechą tego typu maszyny są trzy osie z których dwie umiejscowione są tuż pod żurawiem. Oś napędowa natomiast umiejscowiona jest pod silnikiem. Dzięki wahlivemu przegubowi, który jest umieszczony tuż pod kabiną, promień skrętu harwestera jest mniejszy niżeli w harvesterze czterokołowym. Niezależnie jednak od liczby kół na osi oraz rodzaju zawieszenia, zawsze w przypadku tego typu maszyn mamy do czynienia z dwoma osiami napędzanymi. Skręt maszyn dokonuje się za pomocą sterowanego hydraulicznego przegubu, łączącego przednią i tylną ramę. Dzięki zastosowaniu tandemowego wahlivego układu wózków podczas przemieszczania się maszyny po nierównym terenie oba koła wózka zawsze stykają się z podłożem, co powoduje zmniejszenie nacisków jednostkowych pojazdu (Moskaliak 2004).



**Ryc. 2.** Ogólna budowa harwestera kołowego typu bogie: 5 – koła przednie w układzie tandem, 6 – rama przednia, 7 – przegub, 8 – rama tylna, 9 – koła tylne, 10 – silnik, 11 – zewnętrzne oświetlenie robocze, 12 – kabina, 13 – kolumna żurawia, 14 – podstawa żurawia, 15 – wysięgnik żurawia (fot. Skarżyński)  
*Fig. 2. Construction of harvester type bogie*

W przypadku układu jezdnego gąsienicowego spotyka się rozwiązania tradycyjne oparte na bazie maszyn budowlanych. Ich przeznaczeniem jest przede wszystkim praca w terenie górzystym lub podmokłym. Naciski jednostkowe na powierzchnię to jedynie  $0,4 \text{ kg/cm}^2$ . Choć rozkład nacisków jednostkowych jest korzystniejszy niż w przypadku układów kołowych, a siła uciągu większa, to mimo to, rozwiązania te nie znalazły szerszego zastosowania w polskich lasach ze względu na dokonywanie trwałych uszkodzeń, głównie dróg utwardzonych oraz warstwy ściółki leśnej, podczas wykonywania skrętów i nawrotów. Jeżeli chodzi



o układy gaśienicowe to należy wyróżnić harwester Neuson – Ecotec 900 2HV, który jest maszyną trzebieżową. Niewielka waga oraz gaśienice o szerokości 50 cm widoczne na fot. 2, pozwalają na wykonanie ścinki w trzebieżach gdzie gleba jest podmokła. W ciężkich warunkach można pozyskać tym harwesterem nawet 16 m<sup>3</sup>/h (Szumicki 2006).



**Fot. 2.** Harwester z gaśienicą na osi przedniej typu bogie. Targi ELMIA WOOD 2009 (fot. L. Lewaszkiewicz)

*Photo 2. Harvester with Caterpillar on front axis type bogie*

Dopełnieniem układu jezdnych maszyn wysokowydajnych są koła jezdne. Wymiary opon stosowanych w tego typu maszynach są bardzo zróżnicowane, gdzie szerokość waha się między 500-800 mm, natomiast średnica – między 1 150 a 1 850 mm. Opony najczęściej wykonywane są jako niskociśnieniowe, co dodatkowo powoduje znaczne zmniejszenie nacisków jednostkowych na powierzchnię i zmniejsza poślizg. Opony te stanowią połączenie opony radialnej z diagonalną. Opona taka zamontowana jest na felgach wchodzących w skład układu jezdnych przedstawionego na fot. 3. Bardziej sztywne boki niż tradycyjnej opony radialnej lepiej współpracują z czołem bieżnika. Bardzo istotna jest również wytrzymałość na przecięcie lub przebicie. Zwiększenie wytrzymałości opon uzyskano dzięki niskiemu ciśnieniu w jej wnętrzu. Niebagatelne znaczenie ma również kształt bieżnika. Niejednokrotnie autonomiczna budowa opony nie jest wystarczająca, aby zapewnić odpowiednie

właściwości trakcyjne urządzenia. Wtedy stosowane są najczęściej różnego typu rozwiązania zwiększające przyczepność kół maszyny. Mogą być to specjalne łańcuchy lub gąsienice. Głównym celem konstruktorów jest stworzenie układu jezdnego, który z jednej strony w mniejszy sposób ingerował by w środowisko, głównie w strukturę gleby, a z drugiej strony pozwalał na wzrost wydajności maszyn (Wójcik 2009).



**Fot. 3.** Układ jezdny kołowy z dwoma osiami sztywnymi. Targi ELMIA WOOD 200 (fot. Ł. Lewaszkiewicz)

*Photo 3. Wheel system with two strong axis*

### **Odziaływanie układu jezdnego na warunki glebowe**

Większa średnica kół i szersze ogumienie wytwarzają mniejszy nacisk jednostkowy na grunt. Z drugiej strony wielkie koła wymagają większej redukcji obrotów na minutę i wywierają dość wysokie siły w przedniej części powierzchni styku, gdzie gleba jest ciągle miękka. Maszyny leśne działają w zakresie małych prędkości, a zatem przy bardzo wysokim momencie obrotowym przekazywanym na glebę. Ogumienie maszyn leśnych powinno być wystarczająco sztywne, aby podeprzeć największe oczekiwane ładunki. Sztywność opony musi wynikać ze sposobu jej zbudowania, a nie z ciśnienia napompowania. Jeżeli powierzchnia styku koła na korze wynosi  $40 \text{ cm}^2$ , a wytrzymałość kory  $60 \text{ Ncm}^{-2}$  maksymalna siła pociągowa w tym przypadku musi wynosić  $2,4 \text{ kN}$ . Tam gdzie gleba łatwo ulega zagęszczeniu, powinno się rozważyć użycie harvesterów o niskim nacisku na grunt dla ograniczenia nadmiernego zdzierania pokrywy gleby, formowania kolein i zagęszczenia.

Na mokrych lub łatwo ulegających zagęszczeniu glebach mogą być stosowane opony high flotation. Rozwiązanie to podobnie jak zastosowanie kół bliźniaczych zwiększa efektywną szerokość opon i obniża nacisk na grunt. Większa szerokość opon utrudnia manewrowanie. Wszelkie operacje technologiczne maszyn wielooperacyjnych w czasie mokrej pogody powinny być wstrzymane. W przypadku wyżłobienia kolein przy każdym nawrocie dochodzi do ich pogłębienia dopóki nie zostanie osiągnięta krytyczna głębokość 10 cm. Na tym poziomie koła wchodzą w kontakt z systemem korzeniowym. Gąsienice lub koła po kolejnym przejeździe mogą pograćżyć się do głębokości 30 cm w wyniku czego wiele korzeni zostanie już odciętych lub uszkodzonych. Problem polega na optymalizacji kombinacji tych czynników w celu minimalizacji formowania kolein powodowanego przez pojazdy o różnych gabarytach widocznych w tab. 1.

**Tab. 1.** Podział harwesterów ze względu na masę własną  
*Table 1. Division of harvesters due to their empty weights f*

Wyszczególnienie	Jednostka	Mały harwester	Średni harwester	Duży harwester
Masa własna	[t]	4-8	9-13	13-15 (18)
Szerokość	[cm]	160-220	240-280	260-290
Wysięg żurawia	[m]	6,0	8,5-10,0	10,0-11,0

*Źródło: Moskalik 2004*

Na przełomie lat 1980/1990. przeprowadzone w USA badania dotyczące zachowania gleby na skutek przejazdów maszyn. Badaniom podlegały drzewostany sosnowe i daglezione w wieku od 9 do 80 lat. Wykazano straty miąższościowe w zakresie od 10 do 70%. Stwierdzono, że istnieje silna zależność pomiędzy stratą na przyroście wysokościowym i względnym wzrostem gęstości gleby. Z kolei z badań przeprowadzonych w Nowej Zelandii dowiedziono, że ugięcie gleby może przynieść pozytywne skutki. Na powierzchniach badawczych po przejeździe maszyn wykazano zysk na przyroście nawet do 80%. Przyczynę tego zjawiska należy upatrywać w substracie glebowym, którego specyfika polegała na tym, że po przejeździe maszyny wskutek wzrostu gęstości uzyskiwał on lepszą pojemność wodną. Na podstawie badań prof. Portera stwierdzono, że zwięzłość gleb najbardziej wzrasta na głębokości 15 cm. Ernest Hys przeprowadził badania na ścinarce i stwierdził natomiast, że zwięzłość wierzchniej warstwy gleby do 5 cm uległa zwiększeniu ok. 50%, a gęstość wzrosła o ok. 60% (Rózański 2008).

## Podsumowanie

Biorąc pod uwagę specyfikę pracy harwestera można wyciągnąć następujące wnioski:

- przejazd pojazdu kołowego powoduje istotny wzrost zwięzłości gleby na powierzchni, po której się poruszał,
- stosunkowo ciężkie urządzenia na oponach o dużej powierzchni przylegającej do podłoża w zasadzie nie powodują znacznego ugniatania,
- wielokrotny przejazd powoduje wzrost zagęszczenia gleby,
- przyrost zagęszczenia gleby nie jest proporcjonalny do ilości przejazdów,
- kolejne przejazdy nie zagęszczają już tak bardzo gleby.

## Literatura

- Hys E. 2004. Nowe modele maszyn do pozyskiwania drewna. Technika Rolnicza i Leśna, nr 1: 16.
- Kusiak W. 2008. Liczba harwesterów w Polsce. Drwał, nr 9: 34-38.
- Lisowski A. (red.) 2007. Problemy Techniki Rolniczej i Leśnej. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Moskaliak T. 2004. Model maszynowego pozyskiwania drewna w zrównoważonym leśnictwie polskim. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Różański H. (red.) 2008. Tendencje i problemy techniki leśnej w warunkach leśnictwa wielofunkcyjnego. Wydawnictwo Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań.
- Szumicki D. 2006. Budowa i obsługa techniczna forwaderów i harwesterów. ORWLP, Bedoń.
- Więsik J. 1991. Maszyny leśne cz. I, II. SGGW, Warszawa.
- Wójcik K. 2009. Układ jezdny harwesterów. Drwał, nr 9: 32-34.

**Łukasz Lewaszkiewicz, Andrzej Grieger**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa  
Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych  
lukasz.lewaszkiewicz@vp.pl, lukasz.lewaszkiewicz@zut.edu.pl