

## OKREŚLENIE DEFORMACJI SZŁAKU ZRYWKOWEGO WYWOŁANEGO WIELOKROTNYM PRZEJAZDEM HARWESTERA GĄSIENICOWEGO MHT 8002HV

*Mariusz Kormanek, Łukasz Duszyński*

*Katedra Mechanizacji Prac Leśnych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

*Jiří Dvořák*

*Faculty of Forestry and Wood Sciences, CULS Prague, Czechy*

**Streszczenie.** Celem pracy był pomiar deformacji szlaku zrywkowego wywołany jedno, dwu oraz trzykrotnym przejazdem harwestera gąsienicowego Mht 8002HV. Badania wykonano w terenie o pochyleniu poprzecznym ( $4,5^\circ$ ) oraz wzdłużnym ( $2,6^\circ$ ) do osi szlaku zrywkowego. Pomiarów dokonano przy użyciu urządzenia do bezkontaktowego, komputerowego odwzorowania powierzchni terenu. Urządzenie działa na zasadzie przemieszczania nad badaną powierzchnią dalmierza laserowego *Leica Disto Plus*, przy pomocy współrzędnościowego układu sterowanego za pomocą komputera (sterowanie CNC). Na podstawie wyników stwierdzono, iż trzykrotny przejazd harwestera spowodował niewielką deformację szlaku zrywkowego, a niewielkie pochylenie poprzeczne szlaku spowodowało dociążenie gąsienicy i wywołało jej ponad 70% obciążenie ciężarem całkowitym maszyny w środku gąsienicy. Pomimo nierównego obciążenia gąsienic, obliczony teoretycznie średni nacisk jednostkowy na głębę wywierany przez mocniej obciążoną gąsienicę nie przekroczył 70 kPa, zaś zmierzona średnia głębokość koleiny po trzech przejazdach harwestera sięgała 4,8 cm, a dla gąsienicy mniej obciążonej 3,6 cm. Trzy przejazdy maszyny spowodowały odsłonięcie systemów korzeniowych drzew oraz znaczne przemieszczenia fragmentów podłoża.

**Słowa kluczowe:** szlak zrywkowy, pionowy profil, dalmierz laserowy, deformacja, harvester gąsienicowy

### Wprowadzenie

Zastosowanie maszyn wielooperacyjnych do wykonywania prac pozyskaniowych w terenach górskich jest trudne. Na dużych pochyleniach powyżej 35%, a w niektórych przypadkach (zależnych od warunków powierzchniowych) powyżej 50% mogą być i są stosowane maszyny wyposażone w układy jezdne gąsienicowe (Dvořák, 2011; Gil, 2000). Ich przewagą nad maszynami kołowymi, są przede wszystkim duża stateczność pojazdu oraz niskie naciski jednostkowe, jakie wywierają gąsienice o z reguły dużej powierzchni styku

z podłożem. Pozwala to na stosowanie pojazdu gąsienicowego nie tylko w warunkach dużego pochylenia, ale również w nierównym terenie i o słabej nośności (Jakliński, 2006). Zalety sytemu gąsienicowego mają szczególne znaczenie w kontekście uszkodzeń podłoża, jakie często występują podczas wykonywania prac pozyskaniowych. Według wielu autorów uszkodzenia gleby podczas pozyskania mogą znacząco wpłynąć zarówno na jakość drewna, jak i na pogorszenie stanu zdrowia lasu (Lukáč, 2005; Malík i Dvořák, 2007; Ulrich i in., 2003). Jak podaje literatura większość szkód, może wpłynąć na wzrost drzew w odległości do 15 m po obu stronach szlaku zrywkowego. Według Beckera (Ulrich i in., 2003) uszkodzenia podłoża mogą powodować zmniejszenie produktywności drzew zwykle o 10 do 15%, a nawet dochodzić do 17%.

Pomiar zmian, jakie zachodzą w podłożu w lesie jest zagadnieniem skomplikowanym ze względu na dużą zmienność samego podłoża leśnego, jak również trudność w dostępie do miejsc pomiaru. Ciekawym zagadnieniem, które obrazuje wpływ maszyny na podłoże, wskazuje jego zasięg i rozmiar, jest pomiar deformacji podłoża. W terenie pomiar deformacji pionowej podłoża można wykonać przy pomocy nieskomplikowanego w wykonaniu profilomierza prętowego. Wykonywanie pomiarów tego typu przyrządem jest niestety żmudne i niezbyt dokładne, a sam pomiar ze względu na kontakt elementów pomiarowych z podłożem może powodować zmiany kształtu mierzonej powierzchni. Zastosowane w prezentowanych badaniach urządzenie pozwala na bezkontaktowe określenie pionowego przekroju poprzecznego i wzdłużnego powierzchni badanego terenu, jak również kontrolowanie zmian tych parametrów po wielokrotnym przejeździe maszyn tą samą trasą (Kormanek, 2011).

## **Cel i zakres pracy**

Celem pracy było określenie pionowej deformacji szlaku zrywkowego po jedno, dwu oraz trzykrotnym przejeździe harwestera gąsienicowego Mht 8002HV. Założono określić deformację szlaku zrywkowego przy pomocy bezkontaktowego, komputerowego urządzenia do odwzorowania powierzchni (Kormanek, 2011).

## **Metody badań**

### **Miejsce i obiekt badań**

Pomiary wykonano na szlaku zrywkowym, który charakteryzował się pochyleniem wzdłużnym  $\alpha = 2,6^\circ$ , oraz poprzecznym  $\beta = 4,5^\circ$  do osi szlaku. Podłoże na szlaku stanowiła gleba brunatna wytworzona z gliny na utworach kamienistych, typ siedliskowy lasu to las mieszany górski świeży (LMGśw). Głównym gatunkiem na powierzchni był 60 letni świerk.

Parametry techniczne harwestera Mht 8002HV oraz głowicy harwesterowej LOGMAX 928 zamontowanej na żurawiu maszyny, zawiera tab. 1, zaś rys. 1 widok na maszynę.

Określenie deformacji szlaku...

Tabela 1

*Parametry harwestera Mht 8002HV i głowicy harwesterowej LOGMAX 928*

Table 1

*Mht 8002 HV harvester parameters and the harvester head LOGMAX 928*

Objaśnienia	Symbol	Jednostka	Wartość
Harwester z żurawiem Mht 8002 HV			
Moc silnika	$M_o$	(kW)	43,8
Masa z kabiną	$G_m$	(kg)	8300
Wysokość/szerokość/długość transportowa	H; W; Lt	(m)	2,85/2,15/7,4
Prędkość	v	( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	3,8 - 5,6
Długość gaśienicy/szerokość gaśienicy	L; t	(m)	2,72/0,45
Prześwit	C	(m)	0,39
Maksymalne wzdłużne pochylenie terenu	$\alpha_{\max}$	(°)	21
Maksymalne boczne pochylenie terenu	$\beta_{\max}$	(°)	14
Nacisk jednostkowy	$P_{\text{sr}}$	(kPa)	43,2
Maksymalny wysięg żurawia	R	(m)	9,3
Głowica harwesterowa LOGMAX 928			
Masa z rotatorem	$G_h$	(kg)	420
Średnica cięcia	$D_c$	(m)	0,41
Średnica okrzyszowania	$D_d$	(m)	0,34

*Broszura reklamowa Mht 8002 HV*



*Rysunek 1. Harwester Mht 8002 HV z głowicą harwesterową LOGMAX 928*

*Figure 1. Mht 8002 HV harvester with a harvester head LOGMAX 928*

Mht 8002 HV to niewielki harwester przeznaczony do trzebieży wczesnej i późnej. Ze względu na niewielkie rozmiary harwester może wykonywać prace w dużym zwarciu drzewostanu, zaś dzięki krótkim gaśienicom o długości 2,15 m i szerokości 0,45 m, ma bardzo dobrą manewrowość i może pracować na podłożu o niskiej nośności. Stateczność maszyny jest osiągnięta dzięki nisko położonemu środkowi ciężkości (Broszura reklamowa Mht 8002 HV).

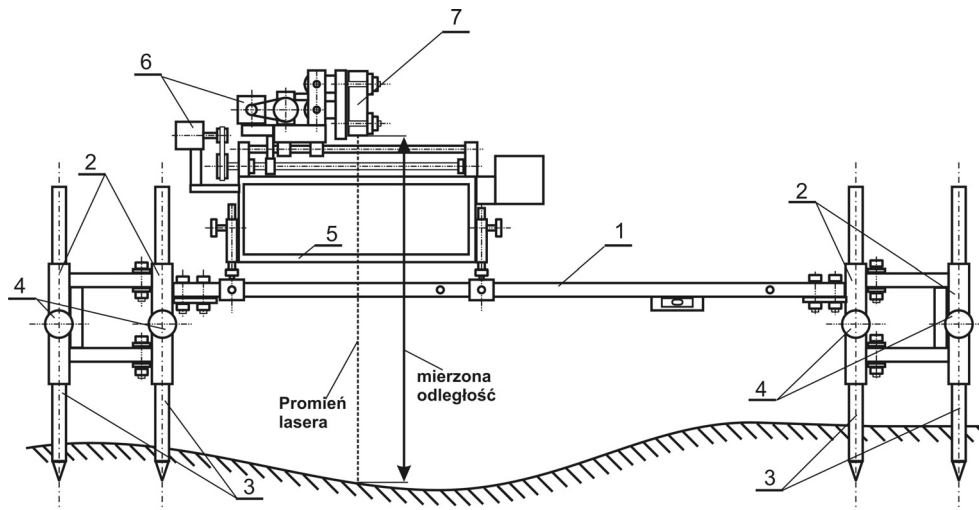
Pomiaru pionowych przekrojów szlaku zrywkowego, po którym poruszał się harwester, dokonano przy pomocy urządzenia przedstawionego na rysunku 2, schemat budowy przedstawiono na rysunku 3.

### Opis urządzenia pomiarowego

Urządzenie przedstawione na rys. 2 oraz 3 składa się z demontowalnych elementów ramy głównej (1), o długości dobieranej do szerokości badanej drogi lub powierzchni oraz stabilizujących podstaw bocznych (2). Rama główna ustawiana jest w poprzek drogi lub powierzchni badanej, na niej zaś ustawiana jest rama zespołu skanującego (5) ze współrzędnościowo osadzonym standardowym dalmierzem laserowym (7) (w prezentowanym rozwiązaniu był to dalmierz *Leica Disto Plus*). Podstawy boczne (2) mają regulowane stopy podporowe (3), których wysunięcie blokowane jest śrubami zaciskowymi (4). Stopy te są w dolnej części zaostrzone i wbijane w podłoże, zaś ich wysuwanie pozwala na wypoziomowanie ramy głównej. Dzięki możliwości odłączania demontowalnych elementów ramy głównej (1) od podstaw bocznych (2) możliwy jest przejazd pojazdu pomiędzy bazowo ustawionymi podstawami bocznymi. Ponowne zamontowanie demontowalnych elementów ramy głównej umożliwia dokonanie kolejnych pomiarów.



Rysunek 2. Fotografia komputerowego urządzenia do bezkontaktowego odwzorowania powierzchni terenu, w trakcie wykonywania odwzorowania leśnego szlaku zrywkowego  
Figure 2. A computer photography of the device for remote imaging of land surface during imaging of the forest skidding road



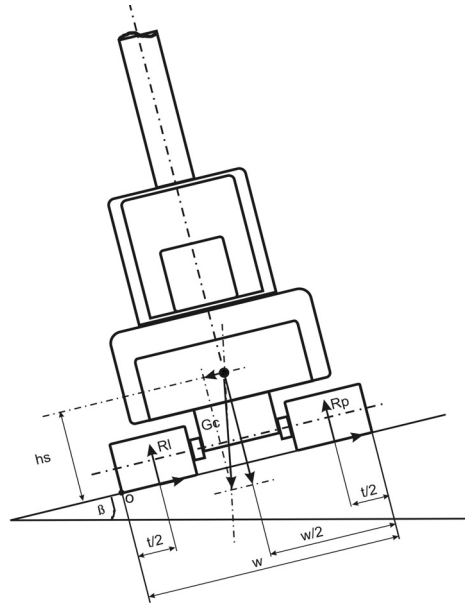
Rysunek 3. Schemat budowy komputerowego urządzenia do bezkontaktowego odwzorowania powierzchni terenu. 1 – demontowalne elementy ramy głównej, 2 – podstawy boczne, 3 – stopy podporowe, 4 – pokrętła blokujące, 5 – rama skanująca, 6 – silniki krokowe, 7 – dalmierz laserowy

Figure 3. Schematic representation of the computer device for remote imaging of land surface. 1 – demountable elements of the main frame, 2 – side bases, 3 – support bases, 4 – blocking knobs, 5 – scanning frame, 6 – stepper motors, 7 – laser rangefinder

Ruch dalmierza (7) wywoływany jest współrzędnościowo za pomocą silników krokowych (6), które sterowane są przy pomocy sterownika CNC, połączonego z komputerem (Kormanek, 2011; Kormanek i Gołąb, 2013). Na szlaku zrywkowym przed przejazdem harwestera oraz po jedno-, dwu- i trzykrotnym przejeździe maszyny, dokonano odwzorowania fragmentu szlaku zrywkowego o długości 0,6 m, poprzez wykonanie odwzorowania pięciu poprzecznych profili szlaku, oddalonych od siebie o 20 cm wzdłuż osi szlaku. Zastosowana rozdzielczość punktów w każdym z profili to 2 cm. Ze względu na to, iż harwester poruszał się po szlaku zrywkowym pochylonym poprzecznie do osi szlaku, występowało nierówne obciążenie gaśienicy lewej oraz prawej. W celu obliczenia obciążeń przypadających na poszczególne gaśienice posłużono się schematem z rys. 4.

Wysokość położenia środka ciężkości maszyny  $h_s$ , obliczono z równania (1) (Dajniak 1974), korzystając z informacji, iż maksymalne pochylenie boczne maszyny  $\beta_{max}$  wynosi  $14^\circ$ , zaś odległości skrajnych punktów na gaśienicach  $W$  jest równa szerokości maszyny, tab. 1.

$$h_s = \frac{W}{2} \cdot \text{tg} \beta_{max} \quad (\text{m}) \quad (1)$$



Rysunek 4. Schemat rozkładu sił na harvesterze Mht 8002 HV, widok od tyłu maszyny

Figure 4. Schematic representation of forces distribution on Mht 8002 HV harvester from the back of the machine

Znając wysokość położenia środka ciężkości  $h_s$  maszyny, na podstawie równania momentów względem punktu O (2) oraz równania (3) obliczono reakcje podporowe w środku lewej  $R_l$  i prawej  $R_p$  gąsienicy, przy pochylonym oraz niepochylonym harvesterze. Za ciężar całkowity maszyny z głowicą  $G_c$  przyjęto sumę ciężaru maszyny z kabiną  $G_m$  oraz ciężaru głowicy obróbczej harwestera  $G_h$ . W obliczeniach przyjęto symetryczny rozkład masy w maszynie niepochylonej wzdłuż jej osi podłużnej, co jest zgodne z zasadami konstrukcji tego typu maszyn.

$$R_p \cdot \left( W - \frac{t}{2} \right) + G_c \cdot \sin \beta \cdot h_s - \frac{G_c}{2} \cdot \cos \beta \cdot W + \frac{R_l}{2} \cdot t = 0 \quad (\text{N}) \quad (2)$$

$$R_l = G_c \cdot \cos \beta - R_p \quad (\text{N}) \quad (3)$$

Następnie obliczono średni nacisk jednostkowy wywierany na gąsienicę lewą  $P_{srl}$  oraz prawą  $P_{srp}$  (3). Obliczeń nacisku dokonano dzieląc znane obciążenie przypadające na gąsienice, równe co do wartości reakcji podporowej, przez powierzchnie gąsienic obliczone jako iloczyn ich długości  $L$  i szerokości  $t$ .

W celu określenia wilgotności wagowej, gęstości objętościowej chwilowej oraz gęstości objętościowej stałej fazy gleby, z głębokości 0-10 cm pobrano próbki gleby w stanie nienaruszonym przy pomocy cylinderków miarowych o objętości  $250 \text{ cm}^3$ . Pobrano osobno po 3 cylinderki z obu kolein na szlaku zrywkowym oraz po trzy cylinderki po obu stronach szlaku zrywkowego w odległości 0,2 m od kolein, tj. w kontroli.

## Wyniki badań

Wyniki pomiarów średniej wilgotności wagowej, gęstości objętościowej chwilowej oraz gęstości objętościowej stałej fazy gleby, jakie określono na próbkach gleby pobranych z kolein na szlaku zrywkowym oraz z obiektów kontrolnych po obu stornach szlaku zrywkowego przedstawia tab. 2.

Tabela 2

*Średnie wilgotności wagowe, gęstości objętościowe chwilowe oraz gęstości objętościowe stałej fazy gleby wyznaczone w koleinie na szlaku zrywkowym oraz obok szlaku zrywkowego (kontrola)*

Table 2

*Average weight moisture, instantaneous bulk densities and constant stage bulk densities of soil determined in the wheel track on the skidding road and next to the skidding road (control)*

Przejazd	Wilgotność wagowa (%)		Gęstość objętościowa chwilowa (g·cm <sup>-3</sup> )		Gęstość objętościowa stałej fazy (g·cm <sup>-3</sup> )	
	Średnia	Odch. stand.	Średnia	Odch. stand.	Średnia	Odch. stand.
Kontrola	12,4	0,36	0,40	0,21	0,36	0,17
Po 1 przejeździe	21,5	0,37	0,52	0,17	0,37	0,15
Po 2 przejazdach	33,0	0,63	0,77	0,22	0,63	0,13
Po 3 przejazdach	39,8	0,72	0,95	0,15	0,72	0,14

Zarówno gęstość objętościowa jak i wilgotność wagowa (tab. 2) zmierzone w koleinie wywołanej przejazdem maszyny, były wyższe od zmierzonych w miejscach kontrolnych obok koleiny. Wartości obu parametrów wzrastają wraz z krotnością przejazdów maszyny. Wzrost wilgotności wagowej po pierwszym przejeździe w stosunku do kontroli był aż 1,7-krotny, zaś po trzykrotnym przejeździe ponad 3,2-krotnym. Również gęstość objętościowa chwilowa znacznie wzrosła, po trzech przejazdach aż 2,4-krotnie, w stosunku do kontroli. Wzrost obu tych parametrów świadczy o zmianie struktury gleby (poprzez zbliżanie się do siebie cząstek fazy stałej) i znacznym wypychaniu powietrza glebowego. Wysokie wartości odchyłań standardowych dla mierzonych parametrów gleby można wiązać z dużą liczbą drobnych korzeni drzew, które rosły w niewielkiej odległości od szlaku. Penetrujące glebę korzenie wpływały na znaczną zmienność parametrów wyznaczonych w pobranych próbkach gleby. Tab. 3 przedstawia wyniki obliczeń reakcji podporowych w środku gąsienic harwestera w wariacie z rzeczywistym pochyleniem terenu prostopadłym do osi szlaku zrywkowego (4,5°) oraz w wariacie, w którym pochylenie nie występuje.

Tabela 3

*Wyniki obliczeń obciążeń na gąsienicach maszyny wywołane bocznym pochyleniem szlaku zrywkowego*

Table 3

*Results of load calculations on the caterpillar of the machine caused by a side declination of the skidding road*

Gąsienica	Wariant pochylenia terenu		
	bez pochylenia	przy pochyleniu o 4,5°	
	(kN)	(kN)	(%) z $G_c$
Prawa $R_p$	42,8	25,5	29,9
Lewa $R_l$		59,8	70,1

Obciążenie oddziałujące w środku lewej dociążonej na skutek niewielkiego 4,5° pochylenia gąsienicy przekracza 70% obciążenia całkowitego wywieranego na podłoże przez maszynę. Skutkuje to znacznym wzrostem wartości średniego nacisku jednostkowego (tab. 4) jaki wywiera lewa gąsienica na podłoże (62,1 kPa) w stosunku do wartości obliczonej dla prawej gąsienicy (26,3 kPa). Pomimo wzrostu, ta wartość średniego nacisku jednostkowego, nie przekracza wartości zalecanej w lasach dla maszyn gąsienicowych tj. 70 kPa (Więsik, 1996).

Tabela 4

*Wyniki obliczeń średnich nacisków jednostkowych wywieranych przez gąsienice harwestera na glebę*

Table 4

*Results of calculations of average unitary pressures caused by the caterpillars of the harvester on the soil*

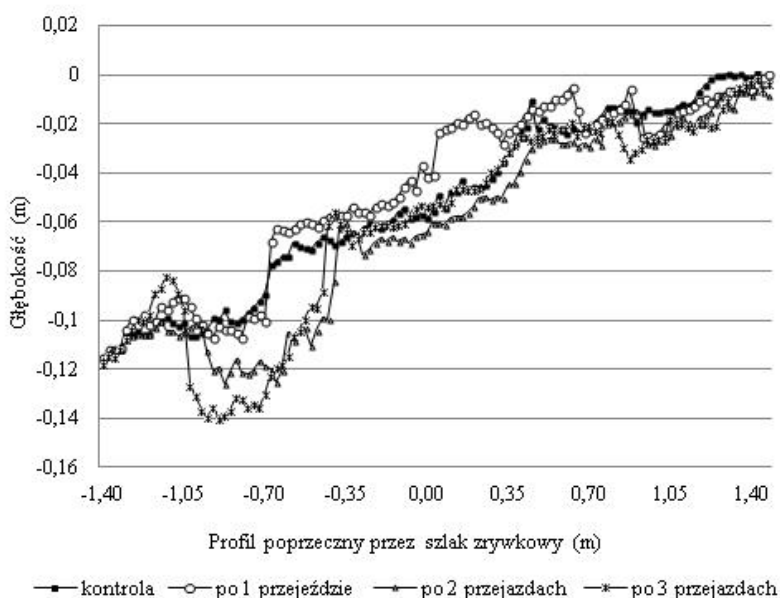
Gąsienica	Wariant pochylenia bocznego	
	bez pochylenia	przy pochyleniu o 4,5°
	(kPa)	(kPa)
Prawa $P_{srp}$	44,2	26,3
Lewa $P_{srl}$		62,1

Nierówne obciążenie gąsienic nie pozostało bez wpływu na przebieg pionowego profilu szlaku zrywkowego (średnia z czterech profili oddalonych od siebie o 20 cm), rys. 5.

Koleina powstała po przejeździe lewej gąsienicy jest zdecydowanie głębsza, jak również jej przyrost z krotnością przejazdu maszyny jest wyższy od tego, jaki wywołała gąsienica prawa. Rys. 6 przedstawia wykres przyrostu głębokości koleiny na szerokości szlaku zrywkowego przy różnej krotności przejazdu maszyn, zaś rys. 8 średni przyrost głębokości

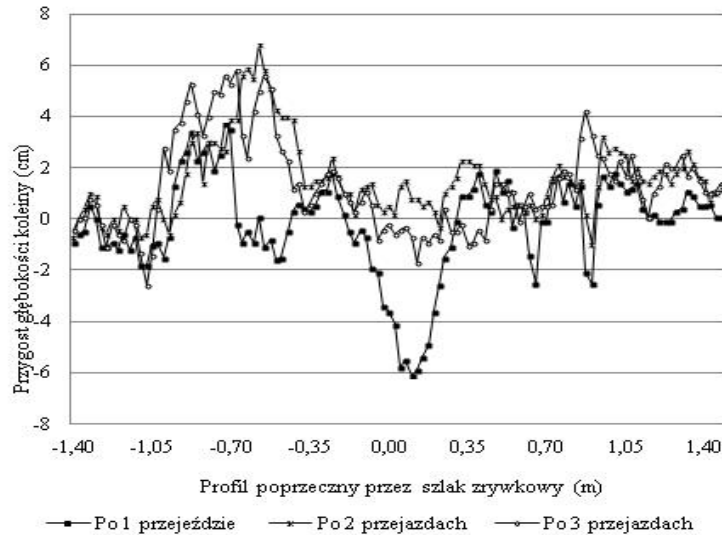


koleiny obliczony dla fragmentów profilu, na które oddziaływały gąsienice maszyny. Przyrosty głębokości kolein (rys. 6) były zróżnicowane na przekroju szlaku, w niektórych fragmentach przyjmowały wartości ujemne. Te ujemne wartości wynikały z miejscowego podnoszenia (wypiętrzania) terenu, na skutek odrywania fragmentów gleby przez gąsienice i ich przemieszczania wywołanego manewrowaniem maszyn jak również pochyleniem terenu. Zgodnie z rys. 7 średni przyrost głębokości koleiny na szerokościach, na których oddziaływały gąsienice wzrastał z krotnością przejazdu maszyny, zaś wartości tych przyrostów były różne dla gąsienicy lewej i prawej.



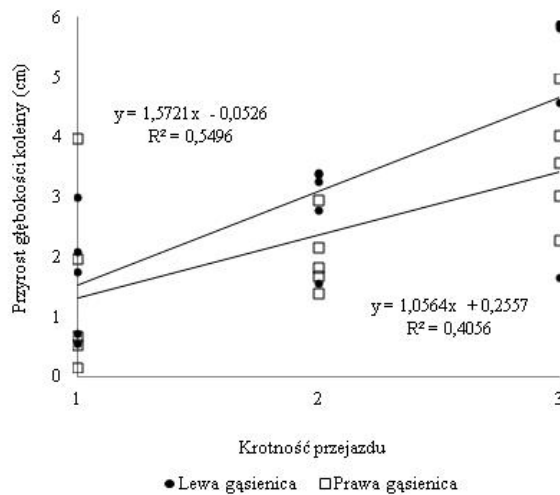
Rysunek 5. Pionowe profile poprzeczne szlaku zrywkowego wykonane przed przejazdem oraz po jedno, dwu, oraz trzykrotnym przejeździe harwestera Mht 8002HV („0” na osi poziomej – oś szlaku zrywkowego)

Figure 5. Vertical transverse profiles of the skidding road made before crossing and after one, two and three crossings of Mht 8002 HV harvester (“0” on the horizontal axis – skidding road axis)



Rysunek 6. Przyrost głębokości koleiny w stosunku do kontroli, na profilu poprzecznym szlaku zrywkowego, w zależności od krotności przejazdu maszyny („0” na osi poziomej – oś szlaku zrywkowego)

Figure 6. Increase of the ruts depth in comparison to control, on the transverse profile of the skidding road depending on the multiplicity of crossings of the machine (“0” on the horizontal axis – skidding road axis)

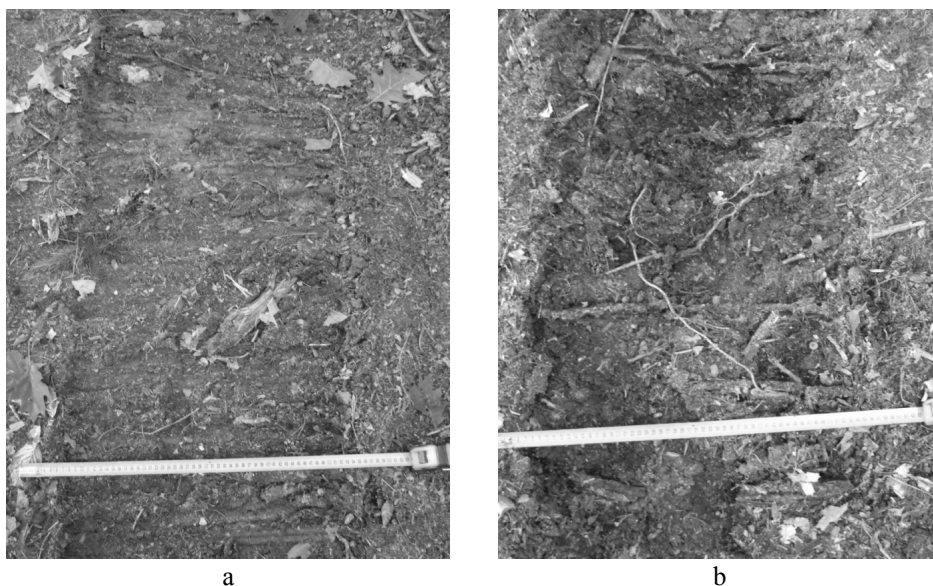


Rysunek 7. Średnie przyrosty głębokości koleiny (na szerokości gąsienicy) w zależności od krotności przejazdu

Figure 7. Average increases of the ruts depth (along the width of the caterpillar) depending on the multiplicity of crossings

Po trzykrotnym przejeździe harwestera średni przyrost głębokości koleiny dochodził do 4,8 cm dla lewej (bardziej obciążonej) gąsienicy, oraz do 3,6 cm dla prawej (mniej obciążonej) gąsienicy.

Rysunek 8 przedstawia fotografie kolein wyciśniętych przez lewą gąsienicę harwestera po jednym (a) oraz po trzech (b) przejazdach tym samym śladem.



Rysunek 8. Widok na fragment koleiny spowodowanej przez jedno- (a), oraz trzykrotny – (b), przejazd harwestera

Figure 8. View on the fragment of rut caused by one (a) and three (b) crossings of a harvester

Po jednym przejeździe gleba została wgnieciona (8a), lecz bez widocznych przemieszczeń gleby, zaś trzy przejazdy maszyny spowodowały ścinanie i odrywanie fragmentów gleby, co jest widoczne na fotografii 8b.

Na rys. 8a i 8b widoczne są również odsłonięcia oraz uszkodzenia korzeni znajdujących się w górnej warstwie gleby. Jak wykazują badania nawet niewielkie otarcia kory mogą być powodem łatwego zainfekowania korzeni, a następnie całej rośliny (Gil, 2000; Ulrich i in., 2003).

## Wnioski

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, iż:

1. Wielokrotny przejazd harwestera gąsienicowego pomimo wywierania przezeń niskich nacisków jednostkowych, spowodował znaczny wzrost wilgotności wagowej (3,2-krotnie po trzech przejazdach) oraz gęstości objętościowej chwilowej (2,4-krotnie po trzech przejazdach) w koleinie w stosunku do obiektu kontrolnego.

2. Nawet niewielkie poprzeczne do osi szlaku zrywkowego pochylenie terenu ( $4,5^\circ$ ) spowodowało znaczny wzrost obciążeń w środku gąsienicy harwestera Mht 8002 HV jadącej poniżej na pochyleniu poprzecznym do osi szlaku. Pochylenie spowodowało, iż ponad 70% ciężaru przypadło na środek gąsienicy bardziej dociążonej.
3. Obliczony teoretycznie średni nacisk jednostkowy, jaki wywierały gąsienice na glebę nie przekraczał 70 kPa, co jest zalecane dla pojazdów gąsienicowych pracujących w lesie.
4. Pochylenie terenu skutkowało różnicą w głębokości koleiny powstałej po przejeździe harwestera. Gąsienica jadąca poniżej na pochyleniu poprzecznym do osi szlaku zrywkowego wygniotła po trzech przejazdach maszyny koleinę (4,8 cm) 1,3 krotnie większą niż gąsienica jadąca powyżej na pochyleniu (3,6 cm).
5. Po trzech przejazdach harwestera w koleinie wyraźnie widoczne są odsłonięte korzenie drzew, jak również odrywane i przemieszczane fragmenty gleby na wskutek oddziaływania gąsienice.
6. Pomimo kolein o niewielkiej głębokości wygniecionych przez maszynę, zwracają uwagę znaczne uszkodzenia powierzchni terenu polegające na odrywaniu i przemieszczaniu fragmentów gleby w koleinie oraz obok koleiny.

## Literatura

- Dajniak, H. (1974). *Ciągniki teoria ruchu i konstruowanie*. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
- Gil, W. (2000). Naziemna zrywka drewna skiderami w ujęciu kodeksu praktyk pozyskaniowych. *Sylvan*, 144(1), 59-73.
- Jakliński, L. (2006). *Mechanika układu pojazd- teren w teorii i badaniach*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 83-7207-595-6.
- Kormanek, M.; Gołąb, J. (2013). Określenie deformacji szlaku zrywkowego przy pomocy laserowego urządzenia do pomiaru przekroju lub ukształtowania powierzchni terenu. *Inżynieria Rolnicza*, 4 (139), T.1, 157-170.
- Kormanek, M. (2011). *Urządzenie do monitorowania profilu lub powierzchni terenu, zwłaszcza drogi gruntowej*. Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Zgłoszenie wzoru użytkowego nr W-120597.
- Lukáč, M. (2005). *Viacoperačné stroje v lesnom hospodárstve*, Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, ISBN 80-228-1348-6.
- Malík, V.; Dvořák, J. (2007). Harvesterové technologie a vliv na lesní porosty. *Folia forestalia Bohemica, Lesnická práce*, 5, ISBN 978-80-86386-92-8.
- Dvořák, J. (2011). The use of harvester technology in production forests. *Forestalia*, 21, ISBN 978-80-7458-018-5.
- Brošura reklamowa Mht 8002 HV.
- Ulrich, R.; Neruda, J.; Valenta, J. (2003). Wpływ układów jezdnych wybranych maszyn na glebę. *Inżynieria Rolnicza*, 11(53), 229-235.
- Więsik, J. (1996). Możliwości doboru maszyn przyjaznych dla środowiska leśnego. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*, 1, 13-15.

## **DETERMINATION OF THE SKIDDING ROAD DEFORMATION CAUSED BY MULTIPLE CROSSINGS OF MHT 8002 HV CATERPILLAR HARVESTER**

**Abstract.** The objective of the paper was to measure deformations of the skidding road which were caused by single, double and triple crossings of caterpillar harvester Mht 8002HV. The measurements were carried out on the skidding road with a transverse slope ( $4.5^\circ$ ) to the axis of the road, and longitudinal ( $2.6^\circ$ ) to the axis of the skidding road. The measurements were carried out with the use of a device for remote imaging of the land surface. The device operates by moving Leica Disto Plus laser rangefinder over the tested surface with the use of the coordinate system controlled by a computer (CNS control). Based on the results, it was reported that three crossing of a harvester caused slight deformations of the skidding road, and slight transverse declination of the skidding road caused loading of the caterpillar and resulted in its 70% loading with the total weight of the machine in the centre of the caterpillar. Despite irregular loading of caterpillars, theoretically average unit pressure on soil caused by more loaded caterpillar did not exceed 70 kPa. Whereas, average depth of the rut, which was measured, after three crossings of the harvester was 4,8 cm and for the less loaded caterpillar it was 3,6 cm. Three crossing of the machine uncovered the root systems of trees and considerable relocations of the ground fragments.

**Key words:** skidding road, vertical profile, laser rangefinder, deformation, caterpillar harvester

**Adres do korespondencji:**

Mariusz Kormanek; e-mail: [rlkorma@cyf-kr.edu.pl](mailto:rlkorma@cyf-kr.edu.pl)  
Katedra Mechanizacji Prac Leśnych  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Al. 29-Listopada  
31-423 Kraków