

OKREŚLENIE DEFORMACJI SZLAKU ZRYWKOWEGO PRZY POMOCY LASEROWEGO URZĄDZENIA DO POMIARU PRZEKROJU LUB UKSZTAŁTOWANIA POWIERZCHNI TERENU

Mariusz Kormanek

Katedra Mechanizacji Prac Leśnych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Janusz Gołąb

Katedra Inżynierii Leśnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Praca zawiera opis budowy oraz przykładowe zastosowanie nowo opracowanego urządzenia do pomiaru odkształceń poprzecznego przekroju drogi lub szlaku zrywkowego. Może też być ono wykorzystane do odwzorowania powierzchni terenu. Działa na zasadzie przemieszczania nad badaną powierzchnią budowlanego dalmierza laserowego *Leica Disto Plus*, przy pomocy współrzędnościowego układu sterownego komputerem (sterowanie CNC). W przedstawianej pracy urządzenie posłużyło do pomiaru deformacji szlaku zrywkowego spowodowanej wielokrotnym przejazdem ciągnika typu skider LKT 81 turbo. Badania odbywały się na szlaku zrywkowym, usytuowanym poprzecznie do niewielkiego, sześciostopniowego spadku terenu. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów pionowej deformacji szlaku zrywkowego oraz obliczenia obciążeń przypadających na poszczególne koła ciągnika w zależności od wielkości transportowanego ładunku i od pochylenia terenu. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, iż trzykrotny przejazd ciągnika tam i z powrotem (z ładunkiem i bez ładunku) spowodował niewielką deformację szlaku zrywkowego. Zwrócono uwagę, iż obserwowane niewielkie pochylenie poprzeczne szlaku zrywkowego spowodowało ponad czterokrotnie większe zmiany geometrii przekroju po stronie odstokowej w stosunku do zmian po stronie przystokowej (odpowiednio: 6,3 cm i 1,5 cm)

Słowa kluczowe: szlak zrywkowy, przekrój poprzeczny, dalmierz laserowy, deformacja

Wprowadzenie

Zagadnienie pomiaru przekroju poprzecznego i podłużnego drogi przejazdowej, ukształtowania jej powierzchni, jak również zmian tych parametrów pod wpływem ruchu pojazdów jest istotne w wielu dziedzinach gospodarki takich jak transport, rolnictwo, leśnictwo, a także ochrona środowiska naturalnego (szczególnie erozja gleb na pochyleniach)

[Gołąb 2010; Jakliński 2006; Kormanek 2011; Laurow 1996]. W technice znane są proste profilomierze prętowe stosowane do pomiarów przekrojów podłużnych i poprzecznych dróg, szlaków zrywkowych, czy kolein [Kormanek, Walczyk 2005], jednak wykonywanie pomiarów przyrządem tego typu jest żmudne i niezbyt dokładne. Dodatkowo stosowanie tej metody, zaliczanej do grupy metod kontaktowych, może powodować zniekształcenia powierzchni podczas wykonywania samego pomiaru. Inne, współcześnie znane rozwiązania, opierają się na metodzie skaningu laserowego i wykorzystują naziemne urządzenia typu TLS (Terrestrial Laser Scanning) [Falkowski i in. 2011]. Przy stosowaniu TLS w prostych zagadnieniach pomiarowych o zakładanej niewielkiej rozdzielczości, uzyskiwana jest znaczna ilość danych, z których część jest niewykorzystywana. Problematiczna jest również dokładność pomiaru głębokich kolein dokonywanego z jednego punktu bazowego.

W artykule przedstawiono rozwiązanie użytkowe przestawnego urządzenia pomiarowego o punktowym, pionowym pomiarze odległości od badanej powierzchni, wraz z przykładowym jego zastosowaniem. Użyto tu łatwego w obsłudze budowlanego dalmierza laserowego. Proponowane urządzenie pozwala na odwzorowanie pionowego przekroju dowolnego terenu lub jego powierzchni, jak również kontrolowanie zmian w jego ukształtowaniu, np. po wielokrotnym przejeździe maszyn tą samą trasą [Kormanek 2009]. Urządzenie zostało zaprojektowane i wykonane przez dr inż. Mariusza Kormaneka w Katedrze Mechanizacji Prac Leśnych, Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest prezentacja i opis laserowego urządzenia do bezkontaktowego pomiaru ukształtowania i deformacji terenu oraz przedstawienie przykładowego pomiaru na szlaku zrywkowym, po którym poruszał się ciągnik typu skider LKT 81 turbo, zrywając ładunek drewna.

Metody badań

Na rysunku 1 przedstawiono widok na zastosowane w badaniach urządzenie, zaś na rysunku 2 – schemat jego budowy.

Opis urządzenia pomiarowego

Urządzenie przedstawione na rysunku 2 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 nad badaną powierzchnią, na niej zaś ustawiana jest rama zespołu skanującego (7), ze współrzędnościowo osadzonym standardowym dalmierzem laserowym (23) (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 (3) są w dolnej części zastrzone i wbijane w podłoże. Wysuwanie stóp (3) pozwala na wypoziomowanie ramy głównej zgodnie z poziomiami (10). W górnej części podstaw (2) zamocowane są prostopadle łączniki do osadzania elementów ramy (1) za pomocą śrub (5).

Dzięki możliwości odłączania elementów (1) od podstaw (2) możliwy jest przejazd pojazdu pomiędzy bazowo ustawionymi podstawami (2), a ponowne ich zamontowanie umożliwia dokonanie kolejnych pomiarów.

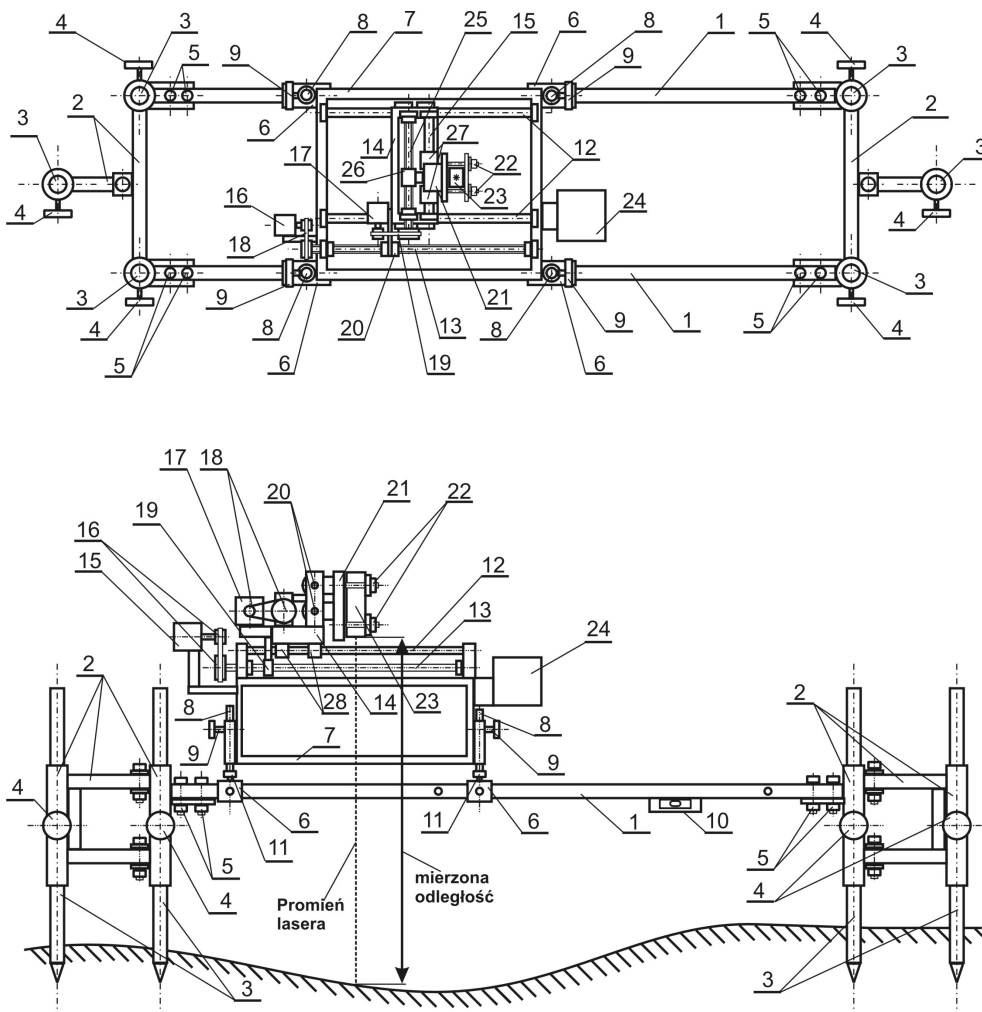


Źródło: fot. Kormanek

- Rys. 1. Urządzenie do pomiaru przekroju lub ukształtowania powierzchni terenu w trakcie wykonywania odwzorowania szlaku zrywkowego
- Fig. 1. The cross-section measuring device or the lie of the land measuring device during mapping of a skid trail

Zespół skanujący stanowi kwadratowa rama (7), do boku, której zamocowano prowadnice przelotowo przetkniętych stóp podporowych (8), blokowanych pokrętłami (9). Stopy (8) zakończone są podporami (6). Rama (7) nakładana jest na prowadnice (1) i poziomo-wna śrubami (11). Rama (7) na stopach (6) jest przesuwana po prowadnicach (1) i etapami dokonywane jest punktowe odwzorowywanie powierzchni obejmowanej przez ramę główną urządzenia. W górnej części ramy (7) zamocowano prowadnice (12) posuwu X i (15) posuwu Y. Równoległe do nich zamocowane są śruby napędowe (13) posuwu X i (25) posuwu Y. Na końcach śrub (13) i (25) zamocowane są przekładnie z pasami zębatymi (19) i (18) napędzane silnikami krokowymi (16) i (17). Śruba (13) posuwu X przemieszcza za pomocą nakrętki napędowej (20) wózek (14) posuwu X. Ruch wózka odbywa się po prowadnicach (12) na łożyskach liniowych (28). Na wózku (14) zamocowane są prowadnice (15) posuwu Y i śruba napędowa (25) posuwu Y. Do ramy wózka (20) zamocowany jest

silnik krokowy (17) napędu posuwu Y. Na prowadnicach (15) posuwu Y na łożyskach liniowych (27) zamocowany jest wózek (21) posuwu Y. Ruch tego wózka wywołany jest nakrętką napędową (26) poruszaną śrubą napędową (25). Do wózka przymocowany jest śrubami (22) dalmierz laserowy (23). Z boku ramy (7) zamocowano w obudowie (24) sterownik CNC (Computerized Numeric Control). Sposób pomiaru polega na przemieszczeniu wózków (14) i (21) z dalmierzem (23) nad badaną powierzchnią. Konfiguracja sterownika CNC dokonywana jest w komputerze sterującym. W przedstawionym rozwiązaniu powierzchnia podstawowa, którą odwzorowuje punktowo zespół skanujący (7), to kwadrat 0,9 m x 0,9 m.



Źródło: Kormanek

Rys. 2. Urządzenie do pomiaru przekroju lub ukształtowania powierzchni terenu. 1 – profile ramy głównej, 2 – podstawy boczne, 3 – stopy podporowe, 4 – pokrętła blokowania stóp 3, 5 – śruby łączące ramę główną, 6 – stopy podporowe zespołu skanującego, 7 – rama skanująca, 8 – stopy podporowe ramy skanującej, 9 – pokrętła zaciskowe stóp podporowych 6, 10 – poziomice, 11 – śruby poziomowania ramy 7, 12 – prowadnice wózka posuwu X, 13 – śruba napędowa posuwu X, 14 – wózek posuwu X, 15 – prowadnice posuwu Y, 16 – silnik krokowy posuwu X, 17 – silnik krokowy posuwu Y, 18 i 19 – przekładnie napędu posuwów X i Y, 20 – nakrętka napędowa posuwu X, 21 – wózek posuwu Y, 22 – mocowanie dalmierza, 23 – dalmierz laserowy, 24 – sterownik CNC, 25 – śruba napędowa posuwu Y, 26 – nakrętka posuwu Y, 27 i 28 – łożyska liniowe posuwu Y i X

Fig. 2. View of the cross-section or the lie of the land measuring device. 1 – profiles of the main frame, 2 – side bases, 3 – tongue jacks, 4 – knobs for blocking tongue jacks 3, 5 – screws joining the main frame, 6 – tongue jacks of a scanning device, 7 – scanning frame, 8 – tongue jacks of a scanning frame, 9 – clamp frames of tongue jacks 6, 10 – level, 11 – screws for levelling the frame 7, 12 – guides of a feed car X, 13 – screw propeller of a feed X, 14 – feed car X, 15 – feed guides Y, 16 – stepper motor of a feed X, 17 – stepper motor of a feed Y, 18 and 19 gears of feed drive X and Y, 20 – drive nut of a feed X, 21 – feed car Y, 22 – rangefinder mount, 23 – laser rangefinder, 24 – CNC controller, 25 – screw propeller of a feed Y, 26 nut of a feed Y, 27 and 28 – linear bearing of a feed Y and X

Program sterujący wywołuje ruch wózka (14) i (21) w systemie krok za korkiem, sterując silnikami (16) i (17). Zatrzymanie dalmierza odbywa się po przemieszczeniu o określonej odległości x i y . W efekcie badaną powierzchnię pokrywa siatka punktów o współrzędnych $[x, y, z]$, gdzie „ x ” i „ y ” odpowiadają przesunięciu wózka (14) i (21) wzdłuż i w poprzek ramy (7), zaś „ z ” odpowiada odległości powierzchni badanej od dalmierza laserowego (23).

Obiekt badań

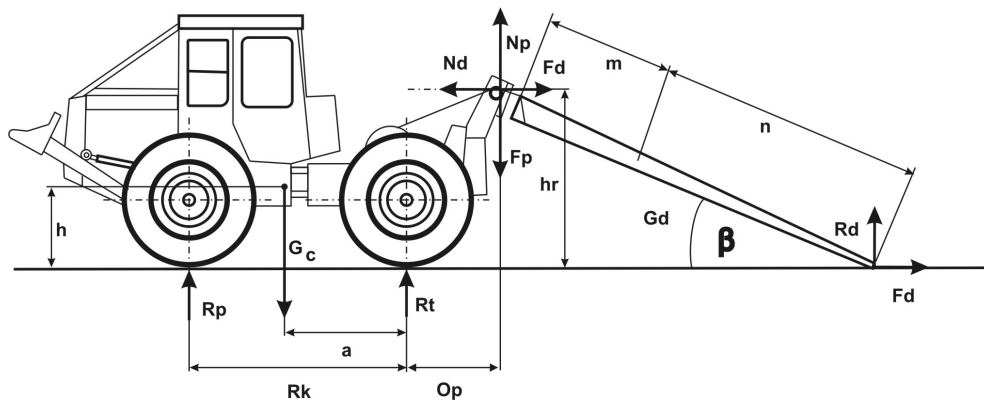
Badania przeprowadzono na terenie kompleksu leśnego w leśnictwie Kopciowa, należącego do Leśnego Zakładu Doświadczalnego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Pomiary przeprowadzono na szlaku zrywkowym, który charakteryzował się brakiem pochylenia podłużnego oraz niewielkim pochyleniem poprzecznym ($\alpha=6^\circ$). Skład granulometryczny gleby w podłożu to piasek słabo gliniasty na piasku luźnym, typ siedliskowy lasu – bór mieszany świeży (BMśw), roślinność runa pokrywająca teren to przede wszystkim borówka czarna. Po szlaku zrywkowym poruszał się ciągnik zrywkowy typu LKT 81 turbo, który zrywał ładunek drewna jodłowego w systemie półpodwieszonym. Parametry techniczne ciągnika zawiera tabela 1. Zużycie opon ciągnika określone na podstawie zmierzonej w terenie wysokości protektora w stosunku do wysokości protektora na oponie nowej oceniono na 40%. Ciągnik przejeżdżał trzy razy tam (z ładunkiem wleczonym) i trzy razy z powrotem (bez ładunku) po szlaku zrywkowym.

Tabela 1. Parametry techniczne ciągnika LKT 81 turbo [Instrukcja obsługi LKT 81 turbo 1985]
 Table 1. Technical parameters of LKT 81 turbo tractor [User's manual of LKT 81 turbo 1985]

Objaśnienia	Zastosowane oznaczenia	Jednostka	Wartość
Ciężar całkowity ciągnika	G_c	[kN]	70,10
Ciężar przypadający na koła przednie	G_{pk}	[kN]	43,10
Ciężar przypadający na kołach tylne	G_{tk}	[kN]	27,00
Wysokość położenia środka ciężkości	h	[m]	1,68
Odległość środka ciężkości od osi tylnej	a	[m]	1,48
Wysokość zamocowania krążka kierującego	hr	[m]	2,00
Odległość krążka kierującego od osi tylnej	Ok	[m]	0,40
Rozstaw osi	Ro	[m]	2,40
Rozstaw kół	rk	[m]	2,02

Źródło: obliczenia własne

W celu wyznaczenia dodatkowego obciążenia na kołach ciągnika, pochodzącego od zrywanego ładunku, wykonano obliczenia zgodnie ze schematami z rysunków 3 i 4. Ładunek w trakcie zrywki był podwieszony na wysokości hr za grubsze końce kłód (odziomki), zaś cieńsze końce (wierzchołki) były wleczone po podłożu. Siła pozioma na rolce kierującej F_d pochodziła od siły tarcia wierzchołków wleczonych kłód po podłożu (współczynnik tarcia drewna o podłoże $\mu=0,4$), zaś siła pionowa F_p na rolce prowadzącej pochodziła od ciężaru ładunku działającego poprzez linę zrywkową.



Źródło: Kormanek

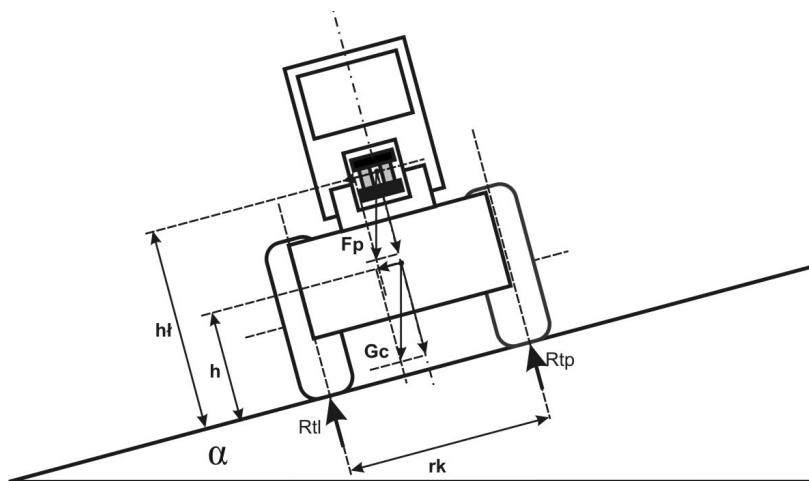
Rys. 3. Schemat rozkładu sił na ciągniku LKT 81 turbo w trakcie wykonywania zrywki
 Fig. 3. Diagram of the power distribution on the tractor LKT 81 turbo during skidding

Wielkości reakcji pionowej R_d na podłożu oraz sił pionowych F_p określono, znając długości poszczególnych kłód oraz ich średnice w cieńszym i grubszym końcu. W obliczeniach środków ciężkości kłód założono, iż mają one kształt ściętego stożka. W celu wyznaczenia sił N_p oraz N_d posłużono się równaniami (1) i (2), gdzie oznaczenia są zgodne z rysunkiem 3 [Mikleš, Holik 2005].

$$N_d = \frac{\mu \cdot \left(1 - \frac{n}{m+n}\right)}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \beta} \cdot G_d \quad (1);$$

$$N_p = \frac{\mu \cdot \operatorname{tg} \beta + \frac{n}{m+n}}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \beta} \cdot G_d \quad (2)$$

Ze względu na pochylenie terenu w poprzek osi szlaku, dokonano korekty obciążeń kół ciągnika, obliczając reakcje lewych i prawych kół ciągnika zgodnie z rysunkiem 4.



Źródło: Kormanek

Rys. 4. Schemat rozkładu sił na ciągniku LKT 81 turbo, widok od tyłu
Fig. 4. Diagram of the power distribution on the tractor LKT 81 turbo, back view

Przebieg badań

Na badanym szlaku przed wykonaniem zrywki oraz bezpośrednio po niej dokonano odwzorowania powierzchni fragmentu szlaku o długości 0,4 m na całkowitej jego szerokości wynoszącej 2,9 m. Zastosowana rozdzielczość siatki punktów na powierzchni szlaku to: 2 cm w poprzek osi szlaku i 10 cm wzdłuż osi szlaku. W celu określenia wilgotności

i gęstości objętościowej w koleinie (na szlaku zrywkowym) oraz obok szlaku zrywkowego, pobrano po trzy próbki gleby do cylinderków miarowych z trzech poziomów głębokości, tj. 0–10 cm, 11–20 cm, 21–30 cm oraz dokonano pomiaru zwięzłości gleby penetrometrem stożkowym, co 2,5 cm zagłębiania stożka do głębokości 35 cm (stożek o średnicy podstawy 1,27 cm), w poprzek osi szlaku, co 10 cm.

Wyniki badań i ich analiza

Wymiary zrywanych ładunków oraz wyniki obliczeń dokonanych na ich podstawie, tj. mas oraz położenia środków ciężkości poszczególnych kłód, zawiera tabela 2. W obliczeniach przyjęto, iż gęstość drewna jodłowego świeżo ściętego wynosi $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabela 2. Parametry zrywanego ładunku
Table 2. Parameters of the skidded load

Nr ładunku	Zrywana kłoda	Długość całkowita L [m]	Średnica odziomka D [m]	Średnica wierzchołka d [m]	Ciężar kłody G_k [kN]	Odległość środka ciężkości n [m]
Ładunek 1	1	6,0	0,36	0,29	4,89	3,2
	2	6,1	0,35	0,30	4,97	3,2
	3	6,1	0,35	0,27	4,54	3,3
	4	6,1	0,36	0,27	4,69	3,3
Ładunek 2	1	9,1	0,34	0,24	5,95	5,1
	2	8,1	0,32	0,23	4,76	4,5
	3	6,1	0,38	0,27	5,01	3,4
Ładunek 3	1	6,1	0,32	0,24	3,71	3,3
	2	6,1	0,34	0,27	4,39	3,3
	3	6,1	0,35	0,28	4,68	3,3
	4	6,1	0,33	0,24	4,85	3,4

Źródło: obliczenia własne

Wyniki pomiarów średniej gęstości objętościowej gleby oraz średniej wilgotności wagowej (średnia z trzech pomiarów na tym samym poziomie), określonych na podstawie próbek pobranych w koleinach oraz obok szlaku (kontrola), przedstawia tabela 3. Zgodnie z tabelą 3, zarówno gęstość objętościowa, jak i wilgotność wagowa gleby w koleinie na szlaku zrywkowym była zdecydowanie wyższa od tej, jaką określono w miejscach kontrolnych. Różnica pomiędzy wartościami badanych parametrów malała wraz z głębokością, z której pobierano próbki gleby. Podobną tendencję wykazują średnie wartości zwięzłości gleby (na głębokości do 35 cm) – rysunek 5.

Zwięzłość, jaką wyznaczono w miejscu bezpośredniego przejazdu kół ciągnika oraz w miejscu wleczenia kłód, była zdecydowanie wyższa (podobnie jak u [Cudzik i in. 2011]) od wyznaczonej na powierzchniach położonych obok szlaku zrywkowego.

Określenie deformacji szlaku...

Tabela 3. Średnia wilgotność wagowa oraz gęstość objętościowa gleby wyznaczona w koleinie szlaku zrywkowego oraz na powierzchni kontrolnej

Table 3. Average weight moisture and bulk density of soil determined in a skid wheel trail and on the control surface

Głębokość [cm]	Wilgotność wagowa [%]		Gęstość objętościowa [g·cm ⁻³]	
	kontrola	w koleinie	kontrola	w koleinie
0–10	47,7	76,4	1,12	1,56
11–20	36,0	43,1	1,41	1,68
21–30	37,1	39,1	1,60	1,66

Źródło: obliczenia własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Średnia zwięzłość gleby na głębokości do 35 cm (wartość „0” na osi poziomej oznacza oś szlaku zrywkowego)

Fig. 5. Average soil density at the depth up to 35 cm (value "0" on the horizontal axis stands for an axis of a skid trail)

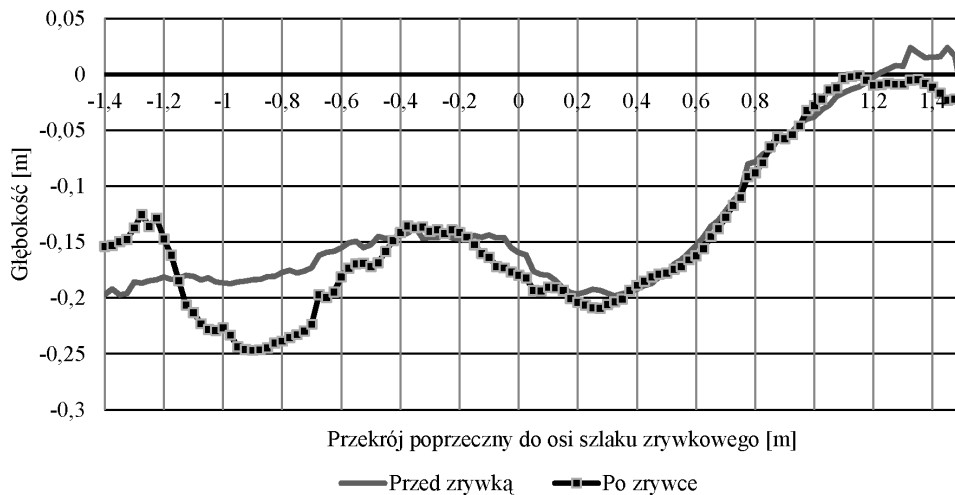
Wyniki obliczeń pionowych reakcji na kołach ciągnika LKT 81 turbo, z rozbiem na przód i tył oraz na lewą (koła jadące poniżej na pochyleniu) i prawą stronę ciągnika (koła jadące powyżej na pochyleniu), dokonane na podstawie parametrów zrywanego ładunku (tab. 2) oraz danych katalogowych, dotyczących ciężarów przypadających na poszczególne koła ciągnika (tab. 1), zawiera tabela 4. W tabeli tej zawarto również obliczenia reakcji na kołach ciągnika w wariacie, gdyby pochylenia terenu w kierunku poprzecznym do osi szlaku zrywkowego nie było. Na podstawie tabeli 4 wyliczono przyrost obciążenia spowodowany spadkiem terenu na kołach lewej strony ciągnika, w stosunku do obciążenia na tych kołach, gdyby pochylenia terenu nie było. W przypadku ładunku nr 1 przyrost ten miał wartość 22%, w przypadku ładunku nr 2–20%, ładunku nr 3–21%, zaś w przypadku przejazdu ciągnika bez ładunku – 18%. Ta różnica w obciążeniach uwidoczniła się w przekroju profilu trasy przejazdowej ciągnika (rys. 6).

Tabela 4. Pionowe reakcje na kołach ciągnika bez ładunku i zrywającego ładunek w wariantach z pochyleniem i bez pochylenia poprzecznego do osi szlaku zrywkowego
 Table 4. Vertical reactions on the tractor wheels without load and skidding the load in the option with transverse inclination and without it towards the skid trail

Wariant ładunku	Wariant pochylenia	Koło przednie lewe R_{pl} [kN]	Koło przednie prawe R_{pp} [kN]	Koła tylne lewe R_{tl} [kN]	Koła tylne prawe R_{tp} [kN]
Ładunek 1	z pochyleniem	21,18	13,63	24,94	16,05
	bez pochylenia	17,41	17,41	20,49	20,49
Ładunek 2	z pochyleniem	21,47	14,33	23,49	15,67
	bez pochylenia	17,90	17,90	19,58	19,58
Ładunek 3	z pochyleniem	21,75	14,10	23,70	15,37
	bez pochylenia	17,93	17,93	19,54	19,54
Bez ładunku	z pochyleniem	17,69	25,42	11,07	15,91
	bez pochylenia	21,55	21,55	13,49	13,49

Źródło: obliczenia własne

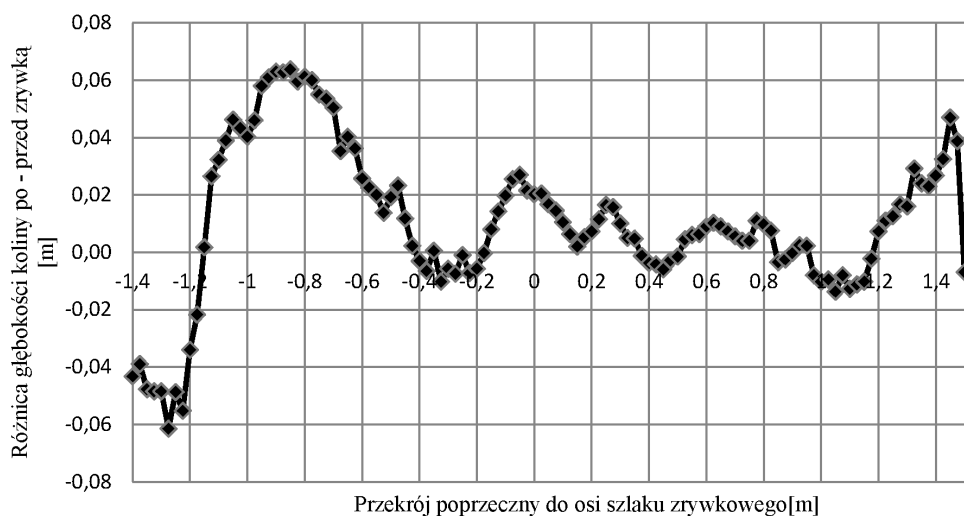
Rysunek 6 przedstawia pionowe przekroje wykonane poprzecznie do osi szlaku zrywkowego w wariantach przed i po zrywce. Każdy z wariantów to średnia z czterech pomiarów dokonanych co 10 cm odległości wzdłuż osi szlaku zrywkowego. Na rysunku 7 przedstawiono różnice głębokości położenia punktów (po i przed zrywką) w pionowym przekroju poprzecznym do osi szlaku zrywkowego.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Pionowy przekrój poprzeczny do osi szlaku zrywkowego wykonany przed zrywką oraz po zrywce drewna (wartość „0” na osi poziomej wykresu oznacza oś szlaku zrywkowego)
 Fig. 6. Horizontal cross-section towards the axis of the skid trail carried out before skidding and after wood skidding (value "0" on the horizontal axis of the diagram stands for the axis of the skidding road)

Na rysunku 6 uwidocznił się wyraźny przyrost głębokości koleiny pod bardziej obciążonymi kołami ciągnika (po lewej stronie od osi szlaku zrywkowego). Średni maksymalny przyrost głębokości koleiny (rys.7) dochodził do 6,3 cm, zaś pod kołami mniej obciążonymi (po prawej stronie) do 1,5 cm; wartość ponad czterokrotnie mniejsza. Ujemne wartości na wykresie z rysunku 7 wskazują na podniesienie się poziomu terenu po zrywce w stosunku do poziomu przed zrywką, co jest wynikiem przesunięć i wygniatania gleby z koleiny przez koła ciągnika w trakcie ich przejazdu.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 7. Przyrost głębokości szlaku zrywkowego po zrywce ładunku (wartość „0” na osi poziomej wykresu oznacza oś szlaku zrywkowego)

Fig. 7. Depth increase of the skidding road after load skidding (value "0" on the horizontal axis of the diagram stands for the axis of the skidding road)

Na podstawie rysunków 6 i 7 można stwierdzić również, iż deformacja szlaku zrywkowego, która wystąpiła pomiędzy kołami jadącego ciągnika, a pochodziła od wleczonego drewna, była niewielka. Średnia wartość tej deformacji nie przekraczała 2 cm.

Wnioski

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, iż:

1. Zaprezentowane urządzenie do pomiaru przekroju lub ukształtowania powierzchni terenu jest przydatne w badaniach deformacji podłoża w warunkach terenowych.
2. Niewielkie, poprzeczne do osi szlaku zrywkowego, pochylenie terenu (6°) spowodowało znaczny wzrost obciążeń na kołach ciągnika LKT 81 turbo, jadących po stronie odstokowej w stosunku do jadących przystokowo. W przypadku przejazdu ciągnika bez

- ładunku wzrost obciążenia na tych kołach sięga 18%, zaś przy zrywce ładunku o masie 19,1 kN dochodzi do 22%.
3. Pochylenie terenu skutkowało różnicą w głębokości powstałej po przejeździe ciągnika koleiny. Koła jadące po stronie odstokowej wygniotły koleinę ponad czterokrotnie większą niż koła jadące po stronie przystokowej.
 4. Wielokrotny przejazd ciągnika tam i z powrotem (3 razy z ładunkiem i 3 razy bez ładunku) nie spowodował znacznych deformacji terenu.

Bibliografia

- Cudzik A., Białczyk W., Czarnecki J., Brennenstul M.** (2011): Ocena wybranych właściwości podłoży leśnych przy różnych metodach zrywki drewna. *Inżynieria Rolnicza*, 8(133), 61-89.
- Falkowski P., Parzyński Z., Uchański J., Uchański Ł.** (2011): Standardy i metadane. *Geodeta*, 11(198), 8-12.
- Gołąb J.** (2010): Odształcenia pasa leśnych dróg stokowych w Bieszczadach. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 14, 125-136.
- Jakliński L.** (2006): *Mechanika układu pojazd-teren w teorii i badaniach*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, ISBN 83-7207-595-6.
- Kormanek M., Walczyk J.** (2005): Zastosowanie metod wideokomputerowych do uzyskania trójwymiarowego odwzorowania powierzchni kontaktu opony z podłożem odształcalnym w warunkach laboratoryjnych. *Inżynieria Rolnicza*, 10(70), 189-199.
- Kormanek M.** (2009): Scanner with laser distance meter use in soil-wheel contact surface research. *International Symposium on forestry mechanization, Formec. CULS Prague*, 237-243.
- Kormanek M.** (2011): Determination of average unit pressures exerted by the pneumatic drive wheel in various variants of slip in laboratory conditions, *PAU Krakow*, 15, vol. 3, 99-108.
- Laurov Z.** (1996): Szlaki technologiczne w procesie pozyskania drewna. Część II. Szlak a środowisko. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*, 6, 23-25.
- Mikleš M., Holik J.** (2005): *Projektovanie a výpočet leśných strojov*. TU Zvolen, ISBN 80-228-1321-4.
- Instrukcja obsługi ciągnika zrywkowego LKT 81 Turbo. (1985). Warszawa.

DETERMINATION OF A SKID TRAIL DEFORMATION WITH THE USE OF A LASER DEVICE FOR MEASURING CROSS-SECTION OR LIE OF LAND

Abstract. The paper presents construction and application of a newly developed device for measuring surface deformation, which operates based on the principle of movement above the surface of a laser rangefinder, using computer numeric control (CNC). The unit was used to determine deformation of the skid trail caused by multiple skidding ride of LKT 81 Turbo tractor skidder. The study took place in the area of low (6°) inclination of a skid trail. The work presents the results of the measurements of vertical deformation of a skid trail, as well as the calculations of an individual wheel load of the tractor, depending on the size of the skidded load and the inclination of the ground. Three tractor drives with load and with no load, have caused ground deformations at a low level. The slope of the ground has already caused a slight increase in the rut depth under the wheels of passing below the contour over four times (6.3 cm), from the wheels going above the contour (1.5 cm).

Key words: skid trail, cross section, laser rangefinder, deformation

Adres do korespondencji:

Mariusz Kormanek; e-mail: rlkorma@cyf-kr.edu.pl

Katedra Mechanizacji Prac Leśnych

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Al. 29 listopada 46

31-423 Kraków