

MARIUSZ KORMANEK, MARIA WALCZYK, JÓZEF WALCZYK

Wpływ obciążenia i liczby przejazdów ciągników zrywkowych na zmianę zwięzłości wybranych gleb leśnych

The effect of load and number of passes of skidding tractors on compaction of forest soils

ABSTRACT

Kormanek M., Walczyk M., Walczyk J. 2008. Wpływ obciążenia i liczby przejazdów ciągników zrywkowych na zmianę zwięzłości wybranych gleb leśnych. Sylwan 10: 48-55.

The paper presents the results of measurements made for two types of Timberjack skidding tractors (forwarder T1010 and skidder T240B) during timber extraction. Static unit pressures of wheels on soil and changes in soil compaction were determined after one, two and three tractor passes on the same wheel tracks with and without load.

KEY WORDS

forest soil, skidding tractor, passes, unit pressure, compaction

ADDRESSES

Mariusz Kormanek – Katedra Mechanizacji Prac Leśnych, Uniwersytet Rolniczy;
Al. 29 listopada 46; 31-425 Kraków; e-mail: rlkorma@cyf-kr.edu.pl

Maria Walczyk – Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Podstaw Rolnictwa, Uniwersytet Rolniczy;
ul. Balicka 116B; Kraków; e-mail: rtwalczy@cyf-kr.edu.pl

Józef Walczyk – Katedra Mechanizacji Prac Leśnych, Uniwersytet Rolniczy;
Al. 29 listopada 46; 31-425 Kraków; e-mail: rlwalczy@cyf-kr.edu.pl

Wstęp

Do szeroko pojętych skutków, jakie powoduje przejazd maszyny w środowisku leśnym, można zaliczyć negatywne oddziaływanie na glebę wyrażające się zmianami właściwości fizycznych jej wierzchniej warstwy [Ala-Ilomäki 1993; Stajniak, Suwała 1997; Porter 1998]. Maszynami, które najczęściej powodują te zagrożenia ze względu na konstrukcję i charakter pracy, są maszyny zrywkowe, a występowanie szkód z ich udziałem jest w zasadzie nieuniknione [Gil 2000]. Zmiany właściwości gleby oraz uszkodzenia pokrywającej ją roślinności są znaczne, a ich usunięcie jest trudne lub wręcz niemożliwe [Więsik 1996]. Badania z zakresu zmian fizyko-mechanicznych gleb leśnych w wyniku oddziaływania mechanizmów jezdnych maszyn wykazały, że takie zmiany występują zawsze, a ich rozmiar zależy od wielu czynników [Jansson, Wåsterlund 1991].

Celem pracy było określenie i porównanie zmian spowodowanych oddziaływaniem na glebę podczas zrywki dwóch ciągników firmy Timberjack – forwardera T1010 i skidera T240B (ryc. 1). Podstawowe dane techniczne analizowanych ciągników zawiera tabela 1.

Przebieg badań

Badania przeprowadzono na terenie Nadleśnictwa Gidle w czasie wykonywania zadań produkcyjnych. Pomiarów dokonano podczas jedno-, dwu- oraz trzykrotnego przejazdu ciągników tymi



Ryc. 1.

Ciągniki porównywane w badaniach: a – forwarder T1010; b – skidder T240B

Compared tractors: a – forwarder T1010; b – skidder T240B

samymi śladami, bez ładunku oraz z ładunkiem. Zakres pracy obejmował wyznaczenie nacisku jednostkowego wywieranego przez koła ciągników i pomiar zwięzłości gleby we wszystkich wariantach. Każdemu ciągnikowi wytyczono 6 odcinków pomiarowych o długości ok. 50 m oraz obszary do pomiarów kontrolnych. Trzy odcinki były ugniatane przejazdami bez ładunku, a pozostałe – z ładunkiem. Zróżnicowanie liczby przejazdów było jednakowe. Obciążenia pionowe na poszczególnych kołach, wynikające z masy własnej ciągników, mierzono na wadze hydraulicznej. Obciążenia forwardera podczas pracy z ładunkiem wyznaczano z równowagi sił z uwzględnieniem masy ładunku oraz jego ułożenia na skrzyni ładunkowej. W przypadku skidera uwzględniono masę i długość ładunku wleczonego w półpodwieszeniu. Powierzchnie styku kół z podłożem dla obu wariantów obciążenia wyznaczano na podstawie zdjęć powstałych śladów, które poddano obróbce w programie komputerowym Multiscan 6.0. Naciski jednostkowe obliczono jako iloraz obciążenia pionowego oraz powierzchni śladu, odpowiadających danemu wariantowi pomiarowemu. W śladach ciągników oraz na obszarach kontrolnych w pobliżu śladów zmierzono zwięzłość gleby do głębokości 0,525 m, stosując penetrometr stożkowy wyposażony w elektroniczny zapis oporu penetracji co 3,5 cm zagłębienia stożka. W miejscach pomiaru, na głębokościach 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m, wyznaczano wilgotność wagową gleby, stosując cylindry miarowe o pojemności 250 cm³.

Pomiary dla forwardera T1010 wykonano na siedlisku lasu mieszanego świeżego (LMśw). Glebą na obszarze badań bez obciążenia była glina lekka pylasta, a pod obciążeniem pył zwykły zalegający na glinie lekkiej oraz pył zwykły. W obu wariantach pomiarowych występowała bogata roślinność runa (głównie *Galium aparine* oraz *Rubus plicatus*) pokrywająca miejsca przejazdu ciągnika, co stanowiło wzmocnienie podłoża. Ładunek transportowany przez T1010 w wariantcie przejazdów z obciążeniem oszacowano dokonując pomiarów poszczególnych sztuk. Wynosił on 85,2 kN, co stanowi 78% maksymalnego ładunku, jaki zgodnie z zaleceniami producenta może transportować tego typu ciągnik (tab. 1). Dla ciągnika typu skidder T240B pomiarów dokonano na siedlisku lasu mieszanego świeżego (LMśw) w przypadku przejazdów bez ładunku oraz lasu mieszanego wilgotnego (LMw) w przypadku pracy z ładunkiem. Glebą na obszarze badań bez obciążenia był piasek słabo gliniasty zalegający na piasku gliniastym lekkim, zaś w przypadku pracy z obciążeniem piasek na glinie. Na powierzchni gleby występowała bogata roślinność runa z przeważającą ilością *Calamagrostis canescens*. Zgodnie z pomiarami i przeprowadzaną

analizą rozkładu sił, ładunek podczas zrywki osiągnął ok. 64% maksymalnego ładunku zrywanego tą metodą przez ten typ ciągnika (tab. 1).

Wyniki badań

Analizując średnią wartość wilgotności w śladach forwardera i skidera bez ładunku i z ładunkiem (tab. 2) można stwierdzić, iż jedynie w wierzchniej, organicznej warstwie do 10 cm wilgotność w przypadku T240B była z reguły wyższa od zmierzonej dla T1010. W pozostałych przypadkach wilgotność przyjmowała różne wartości w zależności od głębokości, bez wystąpienia dostrzegalnych prawidłowości.

W przypadku obu maszyn, w wariacie przejazdów bez ładunku, nacisk jednostkowy kół przednich był wyższy od wywieranych przez koła tylne (tab. 3). Dla T1010 był on 1,6-krotnie, a dla T240B 1,3-krotnie większy. Podczas przejazdów z ładunkiem, w forwarderze T1010 nastąpiło zrównanie wartości nacisku, zaś w skiderze miało miejsce 10% przeciążenie kół tylnych w stosunku do przednich. Dla ciągników w obu wariantach pomiarowych nacisk jednostkowy kół nie przekraczał 87 kPa, co jest znacznie poniżej przyjmowanych w leśnictwie dopuszczalnych wartości dla ciągników kołowych, które wynoszą 150 kPa [Więsik 1996].

Obrazem kształtowania się zwięzłości po 1, 2, oraz 3 przejazdach tym samym śladem dla ciągników bez ładunku są ryc. 2 i 3, zaś tabela 4 przedstawia procentowe ujęcie zmian wartości zwięzłości w stosunku do pomiarów kontrolnych. Dwu- oraz trzykrotny przejazd pustego forwardera zawsze powodował zmianę zwięzłości (ryc. 2, tab. 4). Była ona wprawdzie największa do głębokości 0,105 m, ale już przy 2 przejazdach niewielkie zmiany zagęszczenia sięgały aż do 30 cm. W przypadku skidera jeden przejazd bez ładunku nie spowodował zmian zwięzłości (ryc. 3, tab. 4) w stosunku do pomiarów kontrolnych. Dopiero drugi i trzeci przejazd generowały

Tabela 1.

Wybrane dane techniczne ciągników T1010 oraz T240B
Selected technical data of the tractors T1010 and T240B

Ciągnik	Moc silnika [kW]	Ciężar całkowity [kN]	Ciężar przodu [kN]	Ciężar tyłu [kN]	Rozstaw osi [m]	Opony przód	Opony tył	Ładowność [kN]
T1010	82	110,0	66,0	44,0	4,99	600/65-3414PR	600/55-26,5 12 PR	110
T240B	87	83,9	49,2	34,7	2,97	23,1-26 10PR	23,1-26 10PR	83

Tabela 2.

Wilgotność w śladach po przejeździe ciągnikiem T1010 oraz T240B dla danego obciążenia i krotności przejazdu

Soil moisture in wheel tracks after passing the tractors T1010 and T240B for a given load and number of passes

Ciągnik	Głębokość pomiaru [m×10 ⁻²]	Wilgotność [% wag.]					
		po 1 przejeździe		po 2 przejazdach		po 3 przejazdach	
		bez ładunku	z ładunkiem	bez ładunku	z ładunkiem	bez ładunku	z ładunkiem
T1010	00,0-10,5	11,9	27,6	34,1	15,6	16,1	34,2
	11,0-21,0	32,7	17,0	18,8	25,3	28,2	15,9
	21,5-31,5	14,6	13,0	13,6	15,5	19,9	20,8
T240B	0,0-10,5	50,6	41,6	81,2	81,7	77,7	33,8
	11,0-21,0	25,3	21,5	18,6	20,5	20,8	15,1
	21,5-31,5	14,5	11,6	11,3	23,7	16,6	12,0

Tabela 3.

Nacisk jednostkowy w wariantach bez ładunku oraz z ładunkiem
Unit pressures in the variants without and with load

Ciągnik	Bez ładunku [kPa]		Z ładunkiem [kPa]	
	q_{kp}	$q_{ktp}=q_{ktt}$	q_{kp}	$q_{ktp}=q_{ktt}$
T1010	81,5	52,1	86,9	85,5
T240B	70,1	55,8	67,0	72,7

Oznaczenia: q_{kp} – nacisk jednostkowy koła przedniego, q_{kt} – nacisk jednostkowy koła tylnego, q_{ktp} , q_{ktt} – nacisk jednostkowy na kole przednim i tylnym systemu tandem

Description: q_{kp} – unit pressure of the front wheel, q_{kt} – unit pressure of the rear wheel, q_{ktp} , q_{ktt} – unit pressure of the front and rear wheels in a tandem system

Tabela 4.

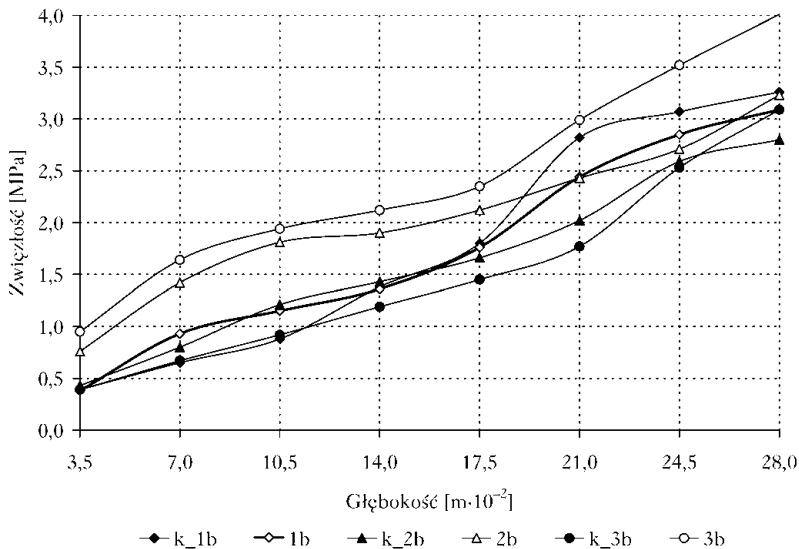
Zmiany zwięzłości wskutek różnej liczby przejazdów ciągnikami T1010 oraz T240B bez ładunku w stosunku do kontroli [%]
Changes in compaction as a result of different number of passes of the T1010 and T240B tractors without load in comparison to the control [%]

Zmiany zwięzłości wskutek różnej liczby przejazdów ciągnikami T1010 oraz T240B bez ładunku w stosunku do kontroli [%]
Changes in compaction as a result of different number of passes of the T1010 and T240B tractors without load in comparison to the control [%]

Wariant	Głębokość [$m \times 10^{-2}$]							
	3,5	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0
1b T1010	-2,6	43,1	30,7	-1,4	-2,2	-13,5	-7,2	-5,2
2b T1010	76,7	77,5	49,6	32,9	27,7	20,3	4,6	15,4
3b T1010	143,6	144,8	110,9	78,2	62,1	68,9	39,1	29,8
1b T240B	-11,8	-10,5	0,0	-24,8	3,9	12,0	3,8	-1,9
2b T240B	14,7	19,3	41,4	7,3	27,6	31,1	16,2	20,8
3b T240B	-2,9	54,4	50,6	12,4	34,9	23,4	24,2	30,5

Oznaczenia: 1b, 2b, 3b – liczba przejazdów bez ładunku

Description: 1b, 2b, 3b – number of passes without load



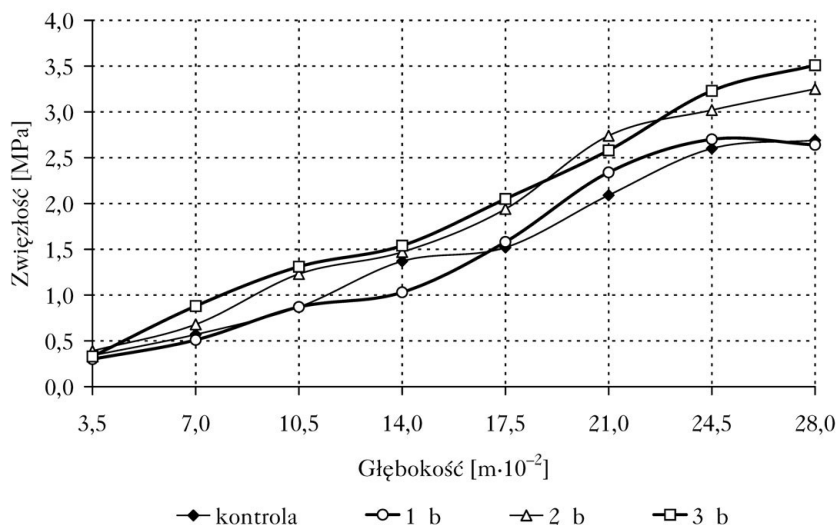
Ryc. 2.

Średnia zwięzłość po przejazdach forwardera T1010 bez ładunku

Average soil compaction after passes of the forwarder T1010 without load

Oznaczenia: 1b, 2b, 3b – liczba przejazdów; k_1b, k_2b, k_3b – warianty kontrolne

Description: 1b, 2b, 3b – number of passes; k_1b, k_2b, k_3b – control variants



Ryc. 3.

Średnia zwięzłość po przejazdach skidera T240B bez ładunku

Average soil compaction after passes of the skidder T240B without load

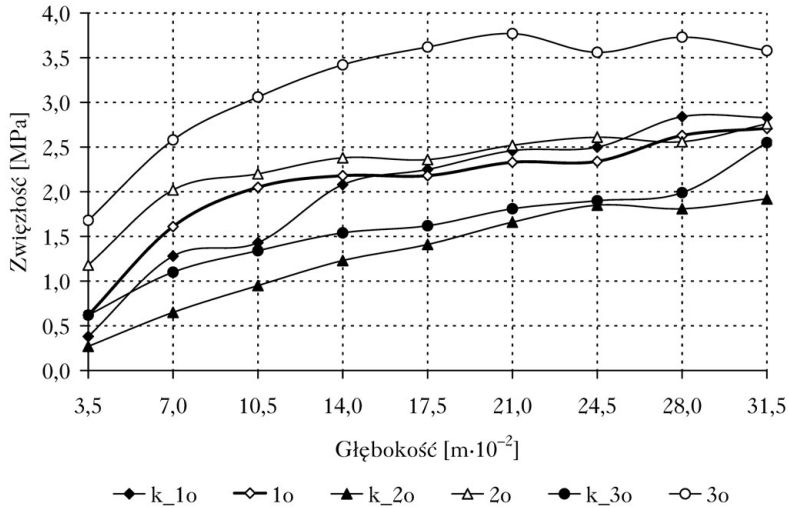
Oznaczenia: 1b, 2b, 3b – liczba przejazdów; k- kontrola

Description: 1b, 2b, 3b – number of passes; k – control

w stosunku do kontroli wyraźne zmiany do głębokości 0,28 m, które nie przekroczyły jednak 31%. Największe zmiany zwięzłości zarejestrowano po trzech przejazdach do głębokości 0,105 m, a wartość ich wyniosła około 50%.

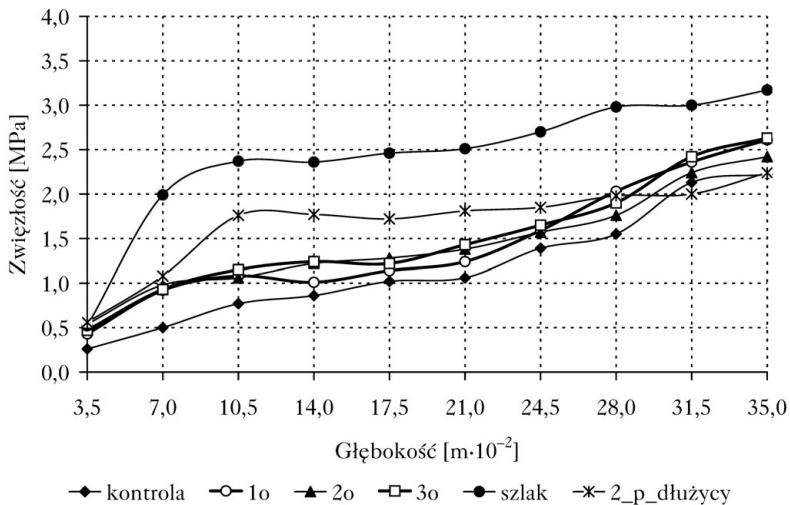
Analiza wyników dla wariantów z ładunkiem (ryc. 4 i 5 oraz tab. 5) wykazała wyraźny wpływ liczby przejazdów oraz obciążenia ciągnika na zwięzłość gleby. W każdym badanym przypadku zwięzłość po przejeździe była większa od zwięzłości kontrolnej. Dla forwardera znaczne zmiany na głębokości 0,105 m zarejestrowano już po pierwszym przejeździe, zaś po trzech przejazdach wzrost zwięzłości bezpośrednio pod kołem (0,035 m) kształtował się na poziomie ok. 171%, zaś na głębokości 0,21 m wyniósł 108,3% wartości kontrolnej (tab. 5). Tak dużych zmian w warstwie do 0,21 m nie można nie brać pod uwagę, ponieważ w warstwie tej znajduje się przeważająca ilość korzeni ważnych dla życia drzew. W przypadku skidera badana gleba reagowała na przejazdy obciążonego ciągnika wzrostem zwięzłości, który w śladach ciągnika – z wyjątkiem pierwszej głębokości przy dwóch przejazdach – nie przekroczył 100% (ryc. 5, tab. 5). Największy wpływ przejazdów obciążonego skidera miał miejsce w zasadzie do głębokości 0,21 m. W tym wariantcie wykonano pomiary zwięzłości również w śladzie pozostawionym przez dwukrotnie wleczone drewno oraz w śladach kół ciągnika na szlaku zrywkowym. Szlak zrywkowy charakteryzował się największą zwięzłością, a jej duży wzrost wystąpił też w śladzie, gdzie wleczone było drewno. Na bazie przedstawionych wyników można oddziaływanie wgłębne skidera ocenić jako znacznie mniejsze od stwierdzonego dla forwardera.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. W celu zredukowania liczby zmiennych zwięzłość z 3 głębokości (3×0,035 m) uśredniono i w analizie wariancji operowano odpowiednimi warstwami (tab. 6). Wyniki analizy wariancji z testem istotności Duncana wskazują, że w odniesieniu do forwardera T1010 dla większości analizowanych kombinacji, statystycznie istotna okazała się liczba przejazdów zarówno dla wersji bez ładunku, jak też z ładunkiem.



Ryc. 4.

Średnia zwięzłość po przejazdach forwardera T1010 z ładunkiem
 Average soil compaction after passes of the forwarder T1010 with load
 Oznaczenia: 1o, 2o, 3o – liczba przejazdów; k_1o, k_2o, k_3o – warianty kontrolne
 Description: 1o, 2o, 3o – number of passes; k_1o, k_2o, k_3o – control variants



Ryc. 5.

Średnia zwięzłość po przejazdach skiderem T240B z ładunkiem
 Average soil compaction after passes of the skidder T240B with load
 Oznaczenia: 1o, 2o, 3o – liczba przejazdów; szlak – zwięzłość na szlaku zrywkowym, 2p_dłużycy – zwięzłość w śladzie po dwukrotnym wleczeniu dłużyc
 Description: 1o, 2o, 3o – number of passes; szlak – compaction on the skidding road, 2p_dłużycy – compaction in the track left after twofold log dragging

W przypadku skidera oddziaływanie wielokrotnych przejazdów ciągnika bez obciążenia, jak też niezależnie od liczby przejazdów z obciążeniem było z reguły istotne. Na bazie przedstawionych wyników można oddziaływanie wglębne skidera ocenić jako znacznie mniejsze od zarejestrowanego dla forwardera.

Tabela 5.

Zmiany zwięzłości wskutek różnej liczby przejazdów załadowanymi ciągnikami T1010 oraz T240B w stosunku do kontroli [%]

Changes in compaction as a result of different number of passes of the T1010 and T240B tractors with load in comparison to the control [%]

Wariant	Głębokość [$m \times 10^{-2}$]									
	3,5	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5	35,0
1o T1010	63,2	25,8	43,4	4,8	-3,1	-5,3	-6,4	-7,4	-4,2	-6,2
2o T1010	337,0	210,8	131,6	93,5	67,4	51,8	41,1	41,4	43,8	58,5
3o T1010	171,0	134,5	128,4	122,1	123,5	108,3	87,4	87,4	40,4	25,5
1o T240B	65,4	84,0	40,3	17,4	11,8	17,0	14,4	31,0	10,8	17,6
2o T240B	107,7	96,0	37,7	41,9	25,5	30,2	12,9	13,5	5,2	9,0
3o T240B	80,8	86,0	49,4	44,2	19,6	34,9	18,7	22,6	13,6	18,5
Szlak T240B	100,0	298,0	207,8	174,4	141,2	136,8	94,2	92,3	40,8	42,8
2p_dłużyc T240B	115,4	116,0	128,6	105,8	68,6	70,8	33,1	27,7	-6,1	0,9

Oznaczenia: 1o, 2o, 3o – liczba przejazdów z ładunkiem; szlak – zwięzłość na szlaku zrywkowym; 2p_dłużyc – zwięzłość w śladzie po dwukrotnym wleczeniu dłużyc

Description: 1o, 2o, 3o – number of passes with load; szlak – compaction on the skidding road, 2p_dłużyc – compaction in the track left after twofold log dragging

Wnioski

- ✦ Podczas zrywki nacisk jednostkowy kół skidera T240B nie przekraczał 73 kPa, zaś forwardera T1010 – 87 kPa. Są to wartości niższe od dopuszczalnych dla ciągników kołowych (150 kPa).
- ✦ W wariancie przejazdu bez ładunku koła przednie wywierały nacisk wyższy od tylnych. Dla T1010 był on 1,6-krotnie, zaś dla T240B 1,3-krotnie większy. W czasie przejazdu z ładunkiem nacisk kół przednich i tylnych był dla T1010 prawie jednakowy, zaś w ciągniku T240B nastąpiło przeciążenie tyłu.
- ✦ W wariancie przejazdu ciągników z ładunkiem wzrost zwięzłości uwidocznił się już przy pierwszym przejeździe. Zwięzłość dla obu maszyn wzrosła o ponad 40% w warstwie do głębokości 0,105 m. Dla przejazdów wielokrotnych wpływ T1010 na wzrost zwięzłości był większy.
- ✦ Ugniatające oddziaływanie skidera T240B w głąb podłoża było znacznie mniejsze od skutków spowodowanych forwarderem T1010.
- ✦ W odniesieniu do forwardera T1010 wyniki analizy wariancji wykazały w większości przypadków statystycznie istotny wpływ na zmiany mierzonych parametrów gleby. W przypadku skidera T240B na ogół dwa i trzy przejazdy oraz obciążenie ładunkiem powodowały statystycznie istotne zmiany zagęszczenia w stosunku do kontroli.

Literatura

- Ala-Homäki J. 1993. A terramechanical approach for evaluating mobility and ground disturbance during skidding and forwarding: preliminary trials. Special Report SR-86, 1-14.
- Gil W. 2000. Naziemna zrywka drewna skiderami w ujęciu kodeksu praktyk pozyskaniowych. Sylwan 1: 59-75.
- Jansson K. J., Wästerlund I. 1991. Use of different methods to determine soil and root damages after mechanized thinning operations. University Manuscript. Swedish University of Agricultural Sciences, s. 18.
- Porter B. 1998. Ekologiczne aspekty prac zrywkowych. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej 7: 17-19.
- Stajniak J., Suwała M. 1997. Problemy i kierunki rozwoju pozyskiwania drewna. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej 7: 19-22.
- Więsik J. 1996. Możliwości doboru maszyn przyjaznych dla środowiska leśnego. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej 1: 13-15.

SUMMARY**The effect of load and number of passes of skidding tractors on compaction of forest soils**

Machines operating in the forest environment exert a negative effect, among other things, on soil. The aim of the paper was to determine the extent of such an effect during timber extraction using two skidding tractors – a forwarder T1010 and a skidder T240B. The experiment was conducted in the forests located in the territory of the Gidle Forest District. Measurements consisted of measuring changes in soil compaction following one, two and three tractor passes on the same wheel tracks in two variants: with and without load and referred to soil compaction on control plots. Also, static unit pressure was calculated on the basis of measurements of the wheel track surface and their vertical loads. Soil compaction was assessed using a cone penetrometer with electronic recording of measured values. The results of measurements and calculations showed that unit pressure of working tractors with load did not exceed level permissible in forestry (150 kPa). The measurement of soil compaction after 2-3 passes of unloaded tractors showed a marked change in compaction level in the layer up to 0.28 m in comparison to control plots. In the first variant, the increase in compaction level was noticed already after the first pass of the tractor and the compaction level for both machines increased by more than 40% in the layer up to 0.105 metres. The downward pressure of the skidder T240B on the deeper soil layers was markedly lower in comparison to the forwarder T1010.