

**DARIUSZ KULAK, ARKADIUSZ STAŃCZYKIEWICZ, GRZEGORZ SZEWCZYK,
ADAM LUBERA, TOMASZ STROJNY**

Czynniki wpływające na zmiany zwięzłości gleb leśnych podczas pozyskiwania surowca drzewnego

Factors affecting the changes in penetration resistance of forest soils during timber harvesting

ABSTRACT

Kulak D., Stańczykiewicz A., Szewczyk G., Lubera A., Strojny T. 2015. Czynniki wpływające na zmiany zwięzłości gleb leśnych podczas pozyskiwania surowca drzewnego. Sylwan 159 (4): 318-325.

The objective of the studies was to determine the penetration resistance (cohesion) of soil compacted at timber harvesting in Scots pine stands subjected to late thinning. The scope of the investigations was limited to two technologies – the mechanized one, using a harvester-forwarder machine set, as well as the motor-manual one, employing petrol chainsaws and a farm tractor for forwarding and dragging of felled trees. The analyses were performed in central Poland, in the Staszów Forest District, for two habitats – fresh mixed coniferous forest and fresh mixed deciduous forest. The measurements of soil cohesion were taken with the use of Eijkelkamp 06.15.SA Penetrologger penetrometer along the five measurement lines situated perpendicularly to the main skidding track. The soil penetration resistance was measured in eight spots for every measurement line: in the middle of the left and right wheel-rut, between the wheel-ruts, on the left and right roadside within a distance of 0.5 and 1 m from the wheel-rut edge, and 10 m from the right wheel-rut; the latter location was treated as the reference. The mechanized timber harvesting caused stronger compaction of soil, particularly in wheel-ruts, where the recorded values of soil cohesion exceeded 3 MPa (fig. 1). For the technology with farm tractor for skidding, the greatest soil compaction was also encountered in wheel-ruts, reaching up to 2.5 MPa. With regard to both logging technologies, the analysis of variability in penetration resistance of the top 10-cm soil horizon revealed a statistically significant increase in soil compaction in wheel-ruts when compared with other measuring points along and nearby the skid track (fig. 2). The employed technology of timber harvesting and the degree of soil cohesion in wheel-ruts were proved to be correlated. In respect of the mechanized variant, the mean value of soil penetration resistance in the top 10-cm layer counted up to 2 MPa and was significantly greater than the one in motor-manual technology, where it did not exceed 1.3 MPa. No significant differences in soil compaction in reference to the investigated forest habitats were revealed, though it was stronger in fresh mixed coniferous forest, with regard to both technological variants. The motor-manual technology caused the increase in soil penetration resistance by 2% on the roadside, nearly 20% in the middle of the skid track and over 70% in wheel-ruts. While the mechanized logging operations resulted in 30% increase in soil cohesion on the roadside, 55% between the wheel-ruts and over 250% inside the wheel-ruts (fig. 3).

KEY WORDS

timber harvesting, mechanized, motor-manual, soil penetration resistance

ADDRESSES

Dariusz Kulak ⁽¹⁾ – e-mail: rlkulak@cyf-kr.edu.pl
 Arkadiusz Stańczykiewicz ⁽¹⁾ – e-mail: rlstancz@cyf-kr.edu.pl
 Grzegorz Szewczyk ⁽¹⁾ – e-mail: rlszewcz@cyf-kr.edu.pl
 Adam Lubera ⁽²⁾ – e-mail: adam.lubera@radom.lasy.gov.pl
 Tomasz Strojny ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Zakład Użytkowania Lasu i Drewna, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; 31-425 Kraków, al. 29-Listopada 46

⁽²⁾ Nadleśnictwo Staszów; 28-200 Staszów, ul. Oględowska 4

Wstęp

Mechanizacja prac związanych z pozyskiwaniem surowca drzewnego ma następstwa zarówno pozytywne (np. zwiększenie bezpieczeństwa [Sowa, Leszczyński 1999; Nowacka 2012; Karaszewski i in. 2013] i wydajności pracy [Giefing, Bembenek 2004; Mederski 2006]), jak i negatywne, do których należy zaliczyć niekorzystne oddziaływanie hałasu i spalin, zanieczyszczenia olejami, uszkodzenia drzew i odnowień, runa oraz gleby [Sowa 1997; Giefing i in. 2012; Bembenek i in. 2013]. Szczególne znaczenie miało wprowadzenie technologii maszynowych, wykorzystujących harwestery do ścinki, okrzesywania i wyrzynki oraz forwardery do nasiębniernej zrywki drewna krótkiego. Pozyskiwanie drewna za ich pomocą wzrasta w Polsce od lat. Zwiększa się również liczba maszyn wielooperacyjnych. Szacunki różnych badaczy wskazują, że w kraju może pracować od około 200 [Skarżyński, Brzózko 2010] do ponad 300 harwesterów i ponad 450 forwarderów [Żabierek, Wojtkowiak 2012]. Optymalne wykorzystanie tych maszyn wymaga gęstej sieci szlaków operacyjnych o dużej szerokości, co powoduje, że ich oddziaływanie obejmuje znaczne powierzchnie zrębów [Neruda 2008]. Jednocześnie są to maszyny o dużej masie, cechujące się znacznymi naciskami jednostkowymi [Więsik 1996], zmieniającymi strukturę i stosunki wodne panujące w glebie, co może niekorzystnie wpływać na wzrost nie tylko sadzonek, ale i starszych drzew, nawet kilkadziesiąt lat po ubiciu gleby [Wert, Thomas 1981].

Celem badań było określenie zwięzłości gleby ubitej podczas pozyskiwania drewna w drzewostanach sosnowych, w których wykonano zabieg trzebieży późnej. Zakres prac ograniczono do dwóch technologii – maszynowej oraz ręczno-maszynowej. Analizy wykonano dla dwóch siedlisk – boru mieszanego świeżego i lasu mieszanego świeżego.

Materiał i metody

Prace pozyskaniowe wykonano za pomocą harwestera John Deere 1170E i forwardera John Deere 1010E oraz pilarek spalinowych i ciągnika Ursus C-360 z wozem. Badania wykonano wczesną wiosną, przy niezamarzniętej glebie, w czterech drzewostanach sosnowych rosnących na glebie rdzawej biellicowej (tab.).

Za pomocą penetrometru Eijkelkamp 06.15.SA Penetrologger wykonano pomiary zwięzłości gleby na liniach usytuowanych prostopadle do głównego szlaku zrywkowego w 5 powtórzeniach, co 10 m.b. szlaku. Na każdej linii pomiarowej wykonano po 8 pomiarów: na lewym i prawym poboczu w odległości 1 m (P-1) i 0,5 m (P-0.5) od brzegu koleiny, w środku prawej i lewej koleiny (KL), pomiędzy koleinami (S) oraz pomiar kontrolny 10 m od prawej koleiny (P-10). W dalszej części pracy do opisu analizowanych wariantów użyto akronimów będących kombinacją skrótów zastosowanych technologii – maszynowej (HF) i ręczno-maszynowej (PC), siedliska BMśw (BM) i LMśw (LM) oraz miejsca na linii pomiarowej. Łącznie analizom pod-

Tabela.

Cechy drzewostanów, w których zlokalizowano badania
 Characteristics of the investigated stands

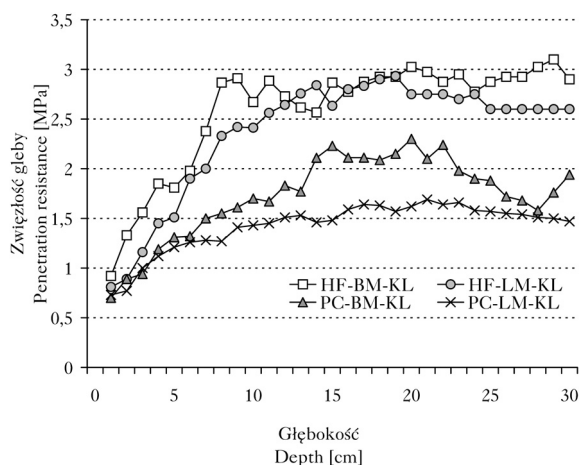
Drzewostan Stand	A	B	C	D
Współrzędne geograficzne Geographical coordinates	50°34,7' N 21°13,5' E	50°33,2' N 21°31' E	50°35,3' N 21°30,7' E	50°32,7' N 21°19' E
Poziom techniki Technique level	maszynowy częściowo zautomatyzowany mechanized partly automated		ręcznie-maszynowy motor-manual	
TSL	LMśw	BMśw	LMśw	BMśw
Forest habitat	fresh mixed deciduous forest	fresh mixed coniferous forest	fresh mixed deciduous forest	fresh mixed coniferous forest
Wiek [lata] Age [years]	68	53	56	56
Skład gatunkowy Species composition	<i>Pinus sylvestris</i> 7 <i>Quercus</i> sp. 2 <i>Betula pendula</i> 1	<i>Pinus sylvestris</i> 7 <i>Betula pendula</i> 2 <i>Robinia pseudoacacia</i> 1	<i>Pinus sylvestris</i> 9 <i>Betula pendula</i> 1	<i>Pinus sylvestris</i> 10
Bonitacja Site class	I	IA	I	I
Zwarcie Crown closure	przerwane broken	umiarkowane moderate	umiarkowane moderate	pełne full
Zadrzewienie Stocking index	0,9	0,9	0,9	1
Zasobność [m ³ /ha] Growing stock volume	233	197	287	291
Średnia pierśnica [cm] Mean DBH	26	23	24	18
Średnia wysokość [m] Mean height	25	21	22	19

dano 20 wariantów będących kombinacją dwóch technologii, dwóch siedlisk i 5 miejsc pomiarowych. Obróbkę statystyczną uzyskanych danych wykonano na poziomie istotności $\alpha=0,05$, z wykorzystaniem pakietu Statistica.

Wyniki

Wielokrotne przejazdy ciężkich maszyn użytych w wariacie maszynowym skutkowały największym wzrostem zwięzłości gleby, przekraczającym nawet 3 MPa (ryc. 1). W technologii ze zrywką wykonaną za pomocą ciągnika rolniczego zagęszczenie gleby było mniejsze i nie przekraczało 2,5 MPa. W obydwu technologiach szkody były większe na siedliskach BMśw. Przy maszynowym pozyskiwaniu drewna maksymalne wartości zwięzłości gleby na obydwu siedliskach były co prawda zbliżone, ale na siedlisku borowym zostały osiągnięte już na głębokości 7 cm, podczas gdy na lasowym – na około 15 cm. W wariacie ręczno-maszynowym większe ubicie gleby na siedlisku BMśw w stosunku do LMśw jest wyraźnie widoczne w całym profilu glebowym.

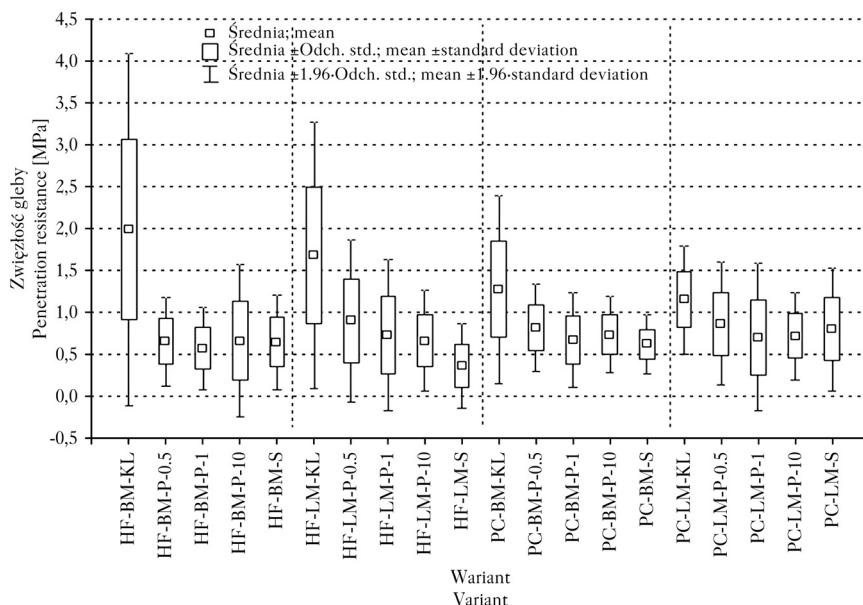
Dalsze porównania różnic zwięzłości gleby pomiędzy poszczególnymi wariantami wykonano dla wierzchniej, 10-centymetrowej warstwy gleby (ryc. 2), gdyż strefa ta zawiera do 90% korzeni przewodzących gatunków iglastych [Wästerlund 1989; Neruda 2008]. Widoczne na rycinie 2 różnice w zwięzłości gleby z różnych punktów na liniach pomiarowych, jak wykazała



Ryc. 1.

Średnia zwięzłość gleby w koleinach
Mean soil penetration resistance in wheel-ruts

HF – forwarder i harwester, PC – ciągnik, LM – las mieszany, BM – bór mieszany
HF – forwarder and harvester, PC – tractor, LM – mixed deciduous forest, BM – mixed coniferous forest



Ryc. 2.

Zwięzłość 10-centymetrowej wierzchniej warstwy gleby w analizowanych wariantach

Soil penetration resistance of the top 10-cm horizon in analysed variants

HF – forwarder i harwester, PC – ciągnik, LM – las mieszany, BM – bór mieszany, KL – koleiny, S – między koleinami, P-1 – w odległości 1 m od kolein, P-0.5 – do 0.5 m od kolein; P-10 – 10 m od koleiny (kontrola)

HF – forwarder and harvester, PC – tractor, LM – mixed deciduous forest, BM – mixed coniferous forest, KL – wheel-ruts, S – between wheel-ruts, P-1 – up to 1 m from wheel-ruts, P-0.5 – up to 0.5 m from wheel-ruts; P-10 – 10 m from wheel-ruts (control)

analiza wariancji, są istotne. Za pomocą testu NIR stwierdzono, że w wariantach HF-BM oraz PC-BM i PC-LM tylko zwięzłości gleby z kolein różniły się istotnie od pozostałych miejsc pomiaru. Nieco odmiennie wyniki uzyskano dla wariantu HF-LM, w którym dodatkowo różnice wystąpiły pomiędzy pomiarem kontrolnym HF-LM-P-10 i wszystkimi pozostałymi.

W związku z tym, że we wszystkich wariantach tylko w koleinach stwierdzono istotne zagęszczenie gleby po wykonanych operacjach, dalsze rozważania ograniczono do tych miejsc. Za pomocą testu t-Studenta sprawdzono, czy te same technologie zastosowane na siedlisku

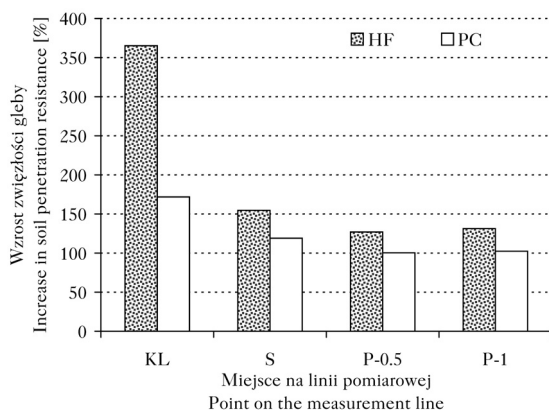
BMśw i LMśw wiązać się będą z różnymi ubiciami gleby. Nie potwierdzono jednak takich zależności. Różnice stwierdzono tylko pomiędzy technologiami – na obydwu siedliskach maszynowe pozyskiwanie drewna wiązało się z istotnym statystycznie zwiększeniem związłości wierzchniej warstwy gleby w stosunku do wariantu ręczno-maszynowego.

Oprócz informacji o oporze penetracji gleby wyrażonym w MPa często stosowaną charakterystyką zmian spójności gleby jest podanie różnic procentowych jej związłości po przejazdach maszyn w stosunku do pomiarów kontrolnych. W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono istotnych zależności między rodzajem siedliska i uzyskanymi wynikami związłości gleby. W każdym miejscu pomiarowym praca z zastosowaniem harwestera i forwardera skutkowałą większymi zmianami związłości gleby w stosunku do pomiaru kontrolnego niż technologia ze zrywką z użyciem ciągnika rolniczego. W obydwu technologiach największe zmiany spójności gleby zaobserwowano w koleinach (ryc. 3).

Dyskusja

Zmiany gęstości gleby w warstwie do 10 cm uważane są za najbardziej dotkliwe, gdyż mają wpływ na wzrost roślinności leśnej, zakłócając gospodarkę wodną oraz funkcjonowanie najdrobniejszych korzeni i mykoryz [Schütt 1981]. W przeprowadzonym doświadczeniu stwierdzono znaczny stopień ubicia gleby, sięgający na głębokości 10 cm w wariantie maszynowym 2,5-3 MPa w zależności od siedliska, zaś w ręczno-maszynowym 1,5-1,7 MPa. Porównując uzyskane wartości do podawanych przez innych autorów można zauważyć, że były one przeciętne. Cudzik i in. [2011] stwierdzili, że pozyskiwanie drewna ze zrywki forwarderem Valmet 840 na siedlisku LMGśw spowodowało, że związłość gleby wyniosła na głębokości 10 cm około 1,7 MPa, zaś na głębokości 20 cm 2,5 MPa. Znacznie większe wartości oporu penetracji gleby na poszczególnych głębokościach podają Kormanek i in. [2006]. Na siedlisku LMśw po zrywce drewna forwarderem Timberjack 1010 stwierdzono, że związłość gleby wyniosła na głębokości 10 cm 3,0 MPa, a na głębokości 21 cm 3,7 MPa. Stwierdzone zagęszczenia gleby mogą, szczególnie w technologii bazującej na maszynach wielooperacyjnych, wpływać na wzrost roślin, który przy związłości gleby przekraczającej 2-3 MPa zostaje zahamowany [Wronski, Murphy 1994].

W wariantie maszynowym po szlaku przemieszczały się dwie maszyny cechujące się znaczącymi naciskami jednostkowymi. Obciążone ładunkiem forwardery (podobnej klasy jak użyte w badaniach) w zależności od liczby kół i typu opon wytwarzają naciski jednostkowe 90 do 120 kPa [Ulrich i in. 2009]. W wariantie ręczno-maszynowym stosowana była tylko jedna maszyna: ciągnik rolniczy Ursus C-360, charakteryzujący się naciskami od 60 (koło tylne) do 76 (koło przednie)



Ryc. 3.

Zmiany związłości gleby w stosunku do pomiarów kontrolnych w zależności od zastosowanej technologii

Changes in soil penetration resistance in relation to the reference measurements depending on the applied technology
oznaczenia jak na rycinie 2; denotes as in figure 2

kPa [Jurga 2008], co przy mieszanym sposobie zrywki – nasiębiernym i wleczonym – spowodowało mniejsze ubicie gleby. Nie zawsze tak jednak bywa – Pandur i in. [2010] stwierdzili, że w drzewostanie dębowym na glebie hydromorficznej ciągnik Belarus 820 pomimo mniejszych nacisków jednostkowych silniej zagęszcza glebę leśną niż forwarder Valmet 840. Przyczyną tego stanu może być fakt, że stopień deformacji gleby na skutek przejazdów maszyn zależy nie tylko od nacisków jednostkowych wywieranych na glebę, ale także od rodzaju i właściwości gleby, głównie jej składu granulometrycznego i wilgotności [Williamson, Neilson 2000]. Według Dextera [2004] zasięg i natężenie szkód glebowych powstałych w trakcie prac pozyskaniowych zależą od masy maszyny, zastosowanego w niej ogumienia oraz technologii wykonawstwa prac.

W przeprowadzonych badaniach średnia zwięzłość gleby w wierzchniej 10-centymetrowej warstwie nie przekraczała w technologii ręczno-maszynowej 1,3 MPa, zaś maszynowej 2 MPa. O ile pierwsza z wartości jest zbliżona do danych literaturowych, to druga, odnotowana na powierzchni z maszynami wielooperacyjnymi, jest wysoka. Porter [1997] podczas badań przeprowadzonych w drzewostanach sosnowych II i III klasy wieku na siedlisku Bśw stwierdził, że średnia zwięzłość wierzchnich warstw gleby w koleinach wyniosła 1,3 MPa po zrywce ciągnikiem rolniczym z wciągarką i 1,2 MPa po zrywce forwardelem FMG. Moskalik [2004] zaobserwował, że w drzewostanach sosnowych średnia zwięzłość gleby po 5 przejazdach ciągnika rolniczego z przyczepą samozaladowczą wyniosła 1,3 MPa, harwestera TJ 1270 – 1,3 MPa, zaś forwardera FMA – 1,5 MPa. Autor ten jednak zauważa, że badania wykonał na glebach piaszczysto-gliniastych, latem, gdy gleba była sucha. Zwraca również uwagę, że wiosną i jesienią wilgotność gleby jest znacznie większa, co wpływa na jej zwięzłość. Omawiane doświadczenie wykonane zostało wczesną wiosną, kiedy gleba była dość wilgotna – średnia wilgotność dla wariantu HF wyniosła 23%, zaś dla PC 18%, co mogło wpłynąć na uzyskane wyniki. Po przekroczeniu wilgotności charakterystycznej dla danego typu gleby (przykładowo dla gliny drobnopiaszczystej jest to około 20%) następuje silne uplastycznienie gleby, podchodzenie wody w miejscu ugniecenia oraz oblepianie się kół ciągnika [Buliński, Sergiel 2011].

Stwierdzone w badaniach procentowe zwiększenie zwięzłości gleby na powierzchniach ze zrywką wykonaną za pomocą ciągnika rolniczego, wynoszące w koleinach około 170% i 120% pomiędzy nimi, jest wynikiem zbliżonym do wartości podawanych w literaturze. Według Zastockiego [2003] w trzebieżowych drzewostanach sosnowych zrywka wykonana za pomocą ciągnika rolniczego w systemie sortymentowym powoduje wzrost zagęszczenia gleby w koleinach do 180%, a pomiędzy koleinami o 120%. W sosnowych drzewostanach przedrębnych podczas półpodwieszanej zrywki drewna ciągnikiem rolniczym Paschalis i Porter [1994] zaobserwowali wzrost spójności gleby o około 210%. Pagliai i in. [2003] podają, że ciągnik kołowy średniej mocy może powodować wzrost oporu penetracji gleby gliniastej o około 150%. Zastosowanie technologii maszynowej skutkowało zwiększeniem zwięzłości gleby o ponad 360% w stosunku do pomiarów kontrolnych. Jest to wzrost bardzo duży, rzadko podawany w literaturze, co najprawdopodobniej związane jest z wczesnowiosennym terminem przeprowadzenia prac pozyskaniowych. Na siedlisku LMśw po zrywce drewna forwardelem Timberjack 1010 Kormanek i in. [2008] stwierdzili, że zwięzłość wierzchnich warstw gleby może wzrosnąć o 300%. Zastosowanie harwestera Timberjack 1270B spowodowało wzrost zwięzłości gleby o 154%, a forwardera 1010 tej samej firmy o 164% [Moskalik 2004]. Użycie forwardera FMG w przedrębnych drzewostanach sosnowych może skutkować blisko 170-procentowym wzrostem zwięzłości gleby [Porter 1997].

Podsumowanie

W wariacie ręczno-maszynowym na obydwu analizowanych siedliskach, a w maszynowym na borze mieszanym świeżym niekorzystne oddziaływanie procesów pozyskaniowych ograniczyło

się wyłącznie do kolein. W technologii maszynowej zastosowanej na siedlisku LMśw istotne zmiany związłości gleby w stosunku do pomiaru kontrolnego objęły cały szlak i miejsca oddalone od niego nawet o 1 m. Stwierdzono związek zastosowanej technologii wykonawstwa prac pozyskaniowych ze stopniem ubicia gleby w koleinach. W wariancie maszynowym średnia związłość gleby w wierzchniej 10-centymetrowej warstwie wzrosła o ponad 250% i dochodziła do 2 MPa. Technologia ręczno-maszynowa była mniej szkodliwa – spowodowała wzrost związłości gleby o około 70%, do poziomu 1,3 MPa.

Literatura

- Bembenek M., Giefing D. F., Karaszewski Z., Mederski P. S., Szczepeńska-Álvarez A. 2013. Uszkodzenia drzew w następstwie trzebieży wczesnych w nizinnych drzewostanach świerkowych. *Sylwan* 157 (10): 747-753.
- Bembenek M., Mederski P. S., Erler J., Giefing D. F. 2011. Results of large-size timber extracting with a grapple skidder. *Acta Sci. Pol., Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 10 (3): 5-14.
- Buliński J., Sergiel L. 2011. Wpływ wilgotności gleby na jej zagęszczenie kołem ciągnika. *Inżynieria Rolnicza* 8 (133): 45-51.
- Cudzik A., Białczyk W., Czarnecki J., Brennensthal M. 2011. Ocena zmian wybranych właściwości podłoży leśnych przy różnych metodach zrywki drewna. *Inżynieria Rolnicza* 8 (133): 61-68.
- Dexter A. 2004. International workshop on soil physical quality. *Soil and Tillage Research* 79 (2): 129-282.
- Giefing D., Bembenek. 2004. The comparison of some selected aspects of forest economy in frontier regions of Poland, the Czech Republic and Germany. *EJPAU* 7 (1) #2.
- Giefing D. F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P. S., Siewert S. 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. *Metodologia badań. Nauka Przyroda Technologie* 6 (3) #59.
- Jurga J. 2008. Wpływ głębokości koleiny i ciśnienia powietrza w ogumieniu na naciski jednostkowe kół ciągników na glebę. *Inżynieria Rolnicza* 4 (102): 347-351.
- Karaszewski Z., Giefing D. F., Mederski P. S., Bembenek M., Dobek A., Stergiadou A. 2013. Uszkodzenia drzewostanu w zależności od metody pozyskiwania drewna ze zrywki ciągnikiem. *Leśne Prace Badawcze* 74 (1): 27-34.
- Kormanek M., Walezyk M., Walczyk J. 2008. Wpływ obciążenia i liczby przejazdów ciągników zrywkowych na związłość wybranych gleb leśnych. *Sylwan* 152 (10): 48-55.
- Kormanek M., Walezykova M., Walczyk J. 2006. Oddziaływanie forwardera Timberjack 1010 na związłość i naprężenia ścinające gleby leśnej. W: *Perspektívy vývoja ťažbovo-dopravného procesu a využitia biomasy v lesnom hospodárstve*. Vydavateľstvo Technická univerzita vo Zvolene. 122-127.
- Lewaszkiwicz Ł., Grieger A. 2012. Wpływ parametrów harwestera na warunki glebowe – identyfikacja zbioru czynników. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 32 (3): 238-245.
- Mederski P. S. 2006. A comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without midfield. *Forest Ecology and Management* 224 (3): 286-296.
- Moskalik T. 2004. Model maszynowego pozyskiwania drewna w zrównoważonym leśnictwie polskim. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Neruda J. 2008. *Harvestorové technologie lesní těžby*. Vydavateľstvo Mendlova zemědělská a lesnická univerzita. Brno.
- Nowacka W. Ł. 2012. Selected workload elements of the machine operators working in timber harvesting. Ergonomic point of view. *Acta Sci. Pol., Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 11 (3): 31-36.
- Pagliai M., Marsili A., Servadio P., Vignozzi N., Pellegrini S. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil and Tillage Research* 73 (1-2): 119-129.
- Pandur Z., Horvat D., Šušnjar M., Nevečeral H., Stankić I. 2010. Environmental evaluation of wood residues utilization. W: 43 International symposium FORMEC 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment. Padova – Italy. CD.
- Paschalis P., Porter B. 1994. Próba oceny uszkodzeń drzew w wyniku prac zrywkowych w sosnowych drzewostanach przedrębnych. *Sylwan* 138 (9): 17-21.
- Porter B. 1997. Techniczne, ekonomiczne i przyrodnicze aspekty zrywki drewna w sosnowych drzewostanach przedrębnych. *Wyd. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa*.
- Schütt P. 1981. Erste Ausätze zur experimentellen klärung des Tannensterbens. *Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen* 132 (6): 443-452.
- Skarżyński J., Brzózko J. 2010. Harwestery do pozyskiwania drewna stosowane w polskich lasach. Cz. 1. Charakterystyka ogólna – nośniki. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 6: 11-14.
- Sowa J. M. 1997. Podstawy metodyczne modelu szacowania szkód pozyskaniowych w środowisku leśnym. W: *Grzywacz A. [red]. Kongres Leśników Polskich. 24-26 kwietnia 1997. Materiały i Dokumenty. Tom II. Warszawa. 132-138*.

- Sowa J. M., Leszczyński K. 1999.** Akustyczne narażenie kierowcy ciągnika LKT 81 Turbo i operatora harwestera Timberjack 1270B. *Zastosowania Ergonomii* 2/3 (34/35): 135-146.
- Ulrich R., Neruda J., Moravec P., Doleyský V., Polícar J. 2009.** Harvesterové technologie v podmínkách lesního hospodářství ČR. Wyd. Tribun EU, Brno.
- Wästerlund I. 1989.** Strength components in the forest floor restricting maximum tolerable machine forces. *Journal of Terramechanics* 26 (2): 177-182.
- Wert S., Thomas B. 1981.** Effects of skid roads on diameter, height, and volume growth in Douglas-fir. *Soil Science Society of America Journal* 45 (3): 629-632.
- Więsik J. 1996.** Możliwości doboru maszyn przyjaznych dla środowiska leśnego. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej* 1: 13-15.
- Williamson J. R., Neilson W. A. 2000.** The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-based harvesting. *Canadian Journal of Forest Research* 30 (8): 1196-1205.
- Wronski E. B., Murphy G. 1994.** Responses of forest crops to soil compaction. W: Some B. D., van Ouwerkerk C. [red.]. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science B.V. 317-342.
- Zastocki D. 2003.** Wpływ stosowanych przez Zakłady Usług Leśnych środków zrywkowych na uszkodzenia gleby i pozostających drzew w sosnowych drzewostanach przedrębnych. *Sylwan* 147 (4): 52-58.
- Żabierek R., Wojtkowiak R. 2012.** The structure and distribution of harvesters and forwarders in individual Regional Directorates of the State Forests in Poland in the early 2010's. *Acta Sci. Pol., Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 11 (4): 69-77.