



ZASTOSOWANIE GEOTKANINY DO ZWIĘKSZANIA NOŚNOŚCI DRÓG LEŚNYCH NA TERENACH BAGIENNYCH

Sylwester M. Grajewski, Andrzej Czerniak, Adrian Kasztelan,
Dariusz Kayzer, Paweł Szóstakowski

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. W lasach częstym problemem jest uzyskanie przejezdności dróg na terenach bagiennych, charakteryzujących się naturalnymi trudnymi warunkami gruntowo-wodnymi inwestycji drogowej. Zazwyczaj są one uwarunkowane wysokim poziomem wód gruntowych oraz występowaniem mało-nośnych gruntów organicznych. Ograniczenia kosztów budowy tego typu dróg oraz stopnia ingerencji w środowisko naturalne upatruje się w wykorzystaniu technologii bazujących na geotekstyliach. W pracy przedstawiono wyniki doświadczenia, którego zasadniczym celem było porównanie parametrów nośności nawierzchni drogi leśnej wykonanej z kruszonego gruzu budowlanego z technologiami wykorzystującymi wzmocnienie podbudowy drogowej geotkaniną. Jesienią 2014 roku założono 5 odcinków doświadczalnych na drodze leśnej biegnącej przez tereny bagienne. Konstrukcja nawierzchni jednego z odcinków składa się z kruszonego gruzu budowlanego, a pozostałe wykonano, wykorzystując geotkaninę wzmocnianą torowo. Wzmocnienie torowe polega na zastosowaniu dodatkowych włókien umieszczanych na przewidywanej szerokości poruszania się lewego i prawego koła pojazdu, dzięki czemu uzyskujemy wyższe parametry geotkaniny na przebiecie, wydłużanie i rozciąganie w strefie poruszania się pojazdów ciężarowych transportujących drewno po drogach leśnych. Na dwóch odcinkach geotkaninę ułożono płasko, a na dwóch zawinięto ją do postaci półmateraca, zasypując dwoma rodzajami kruszyw: tłuczniem granitowym i różnoziarnistym piaskiem średnim. Wykonane w maju 2015 roku terenowe pomiary nośności (E_{vd} , E_1 , E_2) i stopnia zagęszczenia nawierzchni lekką płytą dynamiczną oraz jednoczynnikową płytą statyczną (VSS) wykazały, że wszystkie warianty wzmocnienia konstrukcji nawierzchni wykonane na bazie geotkaniny miały zbliżoną nośność, wykazując zdecydowanie lepsze parametry w stosunku do technologii wykorzystującej gruz budowlany. Jednocześnie przeprowadzone badania nie wykazały spodziewanych różnic w nośności nawierzchni między testowanymi technologiami wykorzystującymi różne warianty wzmocnienia geotkaniną.

Corresponding author – Adres do korespondencji: Dr inż. Sylwester M. Grajewski, Katedra Inżynierii Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Mazowiecka 41, 60-623 Poznań, e-mail: sylgraj@up.poznan.pl

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

Słowa kluczowe: nośność dróg leśnych, lekka płyta dynamiczna, jednoczujnikowa płyta statyczna

WSTĘP

Zapewnienie przejeźdności dróg leśnych na terenach bagiennych z reguły jest związane z bardzo trudnymi warunkami gruntowo-wodnymi. Wysoki poziom wód gruntowych, niejednokrotnie zalegających powierzchniowo, w połączeniu z występowaniem gruntów organicznych o znacznej miąższości, jest wyzwaniem dla projektanta i wykonawcy robót drogowych. W praktyce inwestowanie na podłożu drogowym o tak niskiej nośności z wykorzystaniem technologii tradycyjnych wymaga najczęściej przeprowadzenia intensywnego odwodnienia pasa drogowego i użycia znacznej ilości kruszywa ułożanego w grubych warstwach. Przy płytkim zaleganiu niskonośnego gruntu o małej miąższości można również przeprowadzić jego wymianę. Niestety w obu przypadkach nie unikniemy poważnej ingerencji w naturalną ciągłość biologiczną i hydrogeologiczną ekosystemu, co jest szczególnie istotne na obszarach podlegających ochronie. Dodatkowo może się okazać, że te kosztowne w realizacji rozwiązania nie do końca spełniają nasze oczekiwania.

Skuteczność inwestowania w przejeźdność sieci drogowej na tego rodzaju trudnych terenach można zwiększyć, stosując rozwiązania technologiczne wykorzystujące materiały geosyntetyczne. Bogactwo dostępnych na rynku tworzyw, które często mają zbliżone właściwości techniczne, wymaga rozsądnego spojrzenia w pierwszej kolejności na funkcję, którą mają spełniać w danej budowl. Podstawowymi funkcjami geosyntetyków są filtracja, separacja i wzmocnienie – zbrojenie warstw konstrukcyjnych nawierzchni (Gradkowski, 2007), a także drenowanie oraz ochrona i powierzchniowe zabezpieczenie erozyjne (Malkiewicz, 2011). Dlatego istnieje szansa, że dzięki wykorzystaniu geotekstyliów nie tylko uda się ograniczyć koszty budowy dróg na obszarach bagiennych, ale również zmniejszyć stopień ingerencji w środowisko naturalne poprzez rezygnację z usuwania słabonośnego podłoża czy intensywnego odwodnienie korpusu drogi.

Głównym celem przeprowadzonych badań było porównanie parametrów nośności nawierzchni drogi leśnej wykonanej z gruzu budowlanego z technologiami wykorzystującymi wzmocnienie podbudowy drogowej geotkaniną.

OPIS OBIEKTU BADAŃ

Na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Siemianicach, przy współpracy z dyrekcją zakładu oraz z firmą ViaCon Polska Sp. z o. o., jesienią 2014 roku założono pięć odcinków doświadczalnych, w ciągu istniejącej drogi leśnej przebiegającej przez tereny bagienne (fot. 1). Do zwiększenia nośności nawierzchni, oprócz gruzu budowlanego, wykorzystano geotkaninę wzmocnianą torowo typu „GeoLas”. Wzmocnienie torowe polega na wprowadzeniu do tkaniny mocniejszych włókien na szerokości lewego i prawego

ślądu, po których poruszają się pojazdy ciężarowe, dzięki czemu tworzywo zyskuje jeszcze lepsze parametry na przebicie, wydłużanie i rozciąganie (MD 30 kN/m w pasach wzmocnionych w stosunku do 15 kN/m tła). Zastosowanie takiej technologii wpływa na zmniejszenie ryzyka wystąpienia kolein, powstawania ubytków czy zniekształcenia spadków poprzecznych jezdni. Wprowadzenie tego typu geotkaniny na wąskich drogach leśnych wydaje się bardzo praktycznym rozwiązaniem.



Fot. 1. Widok z terenu budowy odcinków doświadczalnych
(fot. S. Grajewski)

Phot. 1. A view of the construction site experimental stretch
(Photo S. Grajewski)

Wybrany do badań fragment leśnej drogi charakteryzował się bardzo wysokim poziomem wód gruntowych, okresowo występujących również powierzchniowo, a nawierzchnię stanowił silnie nawodniony, organiczny grunt rodzimy, częściowo pokryty roślinnością bagienną (fot. 1, tab. 1).

Tabela 1. Podstawowe informacje o założonych odcinkach doświadczalnych
 Table 1. Characteristics of the experimental stretch

Cecha Characteristics	Odcinki doświadczalne Research sections of the experimental stretch of road				
	A	B	C	D	E
Nawierzchnia Pavement	18 cm tłuczeń granitowy crushed granite 0-31,5 mm	15 cm tłuczeń granitowy crushed granite 0-31,5 mm	30 cm Ps	30 cm Ps	5 cm Ps
	10 cm Ps	13 cm Ps			40 cm gruz budowlany rubble
	płasko ułożona geotkanina geotextile laid flat	półmaterac z geotkaniny geotextile semi- mattress	półmaterac z geotkaniny geotextile semi-mattress	płasko ułożona geotkanina geotextile laid flat	
	25 cm warstwa odsączająca z piasku średniego (P_s) różnoziarnistego drainage layer of medium, variously grained sand (P_s)				
Odwodnienie Type of roadside ditch	rów jednostronny, sączki poprzeczne, warstwa odsączająca ditch sided, drains cross the road, drainage layer of medium				rów obustronny double-sided ditch
Podłoże drogowe naturalne Natural subgrade	25 cm mursz moorsh	20 cm mursz moorsh	35 cm mursz moorsh	30 cm mursz moorsh	30 cm mursz moorsh
	40 cm P_g/G_p	10 cm I_π	20 cm P_g/G_p	25 cm P_g/G_p	30 cm P_g
		30 cm P_g	15 cm I_π		15 cm $G_{z\pi}$
	>65 cm p.p.t. – b.s.l. P_π	>60 cm p.p.t. – b.s.l. $G_{z\pi}$	>70 cm p.p.t. – b.s.l. P_π	>55 cm p.p.t. – b.s.l. P_g	>75 cm p.p.t. – b.s.l. P_π
ZWG, cm p.p.t. – b.s.l.	121	113	112	108	79
Szacunkowy koszt 100 m Estimated cost 100 m PLN	14 300	15 000	9 000	8 300	33 300

Oznaczenia: P_s – piasek średni, P_g – piasek gliniasty, P_π – piasek pylasty, G_p – glina piaszczysta, $G_{z\pi}$ – glina zwięzła pylasta, I_π – il pylasty, ZWG – poziom ustabilizowanego zwierciadła wody, p.p.t. – poniżej poziomu terenu.

Designation: P_s – medium sand, P_g – loamy sand, P_π – silty sand, G_p – sandy loam, $G_{z\pi}$ – compact silty loam, I_π – silty clay, ZWG – level of stabilized water table, b.s.l. – below surface level.

MATERIAL I METODY

Na uprzednio wyrównanej i częściowo wywyższonej nasypem drogowym powierzchni starego śladu drogi leśnej założono cztery odcinki doświadczalne o długości 25 m każdy (odcinki od A do D) oraz jeden o długości 221 m (odcinek E, fot. 2). Na każdym z odcinków zastosowano inny wariant wzmocnienia konstrukcji nawierzchni (tab. 1). Na odcinkach od A do D wykorzystano geotkaninę układaną płasko z półmetrym zawinięciem do postaci półmateraca oraz dwa rodzaje kruszyw: tłuczeń granitowy i piasek średni różnoziarnisty. Piąty odcinek doświadczalny wykonano z użyciem kruszonego gruzu budowlanego.



Fot. 2. Widok odcinka doświadczalnego w dniu przeprowadzenia pomiarów (fot. S. Grajewski)

Phot. 2. A view of the experimental stretch on the day of measurement (Photo S. Grajewski)

Jezdnia na odcinkach doświadczalnych ma stałą 3-metrową szerokość, 2-procentowy spadek poprzeczny, 2-procentowy spadek podłużny oraz jedno- lub obustronne rowy przydrożne. Mając na uwadze charakterystykę terenu doświadczenia, w celu sprawniejszego odprowadzenia wody z korpusu drogowego do rowu, na odcinkach od A do D zamontowano osiem prefabrykowanych sączków poprzecznych o średnicy 80 mm.

W maju 2015 roku na odcinkach doświadczalnych wykonano badania terenowe, w których przeprowadzono m.in. pomiary nośności i stopnia zagęszczenia nawierzchni z użyciem dwóch urządzeń: lekkiej płyty dynamicznej (Zorn Instruments typu ZFG 3000 GPS) oraz jednoczuJNIkowej płyty statycznej VSS (Prüfgerätebau GmbH typu HMP PDG Pro).

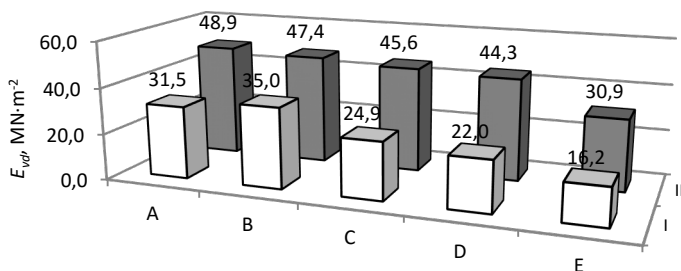
Pomiary lekką płytą dynamiczną odbyły się zgodnie z metodyką zalecaną przez producenta płyty (Instrukcja..., 2014) oraz Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie (Szpikowski i in., 2005). Badania prowadzono dla lewego i prawego śladu kół oraz dla osi jezdni, wykonując od 29 do 52 pomiarów na każdym odcinku doświadczalnym. Ustalono wartość dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} oraz wielkość s/v , będącą miarą stopnia zagęszczenia, przyjmując, że zagęszczenie badanej warstwy jest wystarczające wówczas, gdy wartość s/v nie przekracza 3 ms (Instrukcja..., 2014).

Badania jednoczuJNIkową płytą statyczną były prowadzone zgodnie z ustaleniami BN-64/8931-02 i PN-S-02205:1998, w liczbie co najmniej 3 sztuk na każdym z odcinków doświadczalnych. Obliczono wartości pierwotnego (E_1) i wtórnego (E_2) modułu odkształcenia oraz wartość wskaźnika odkształcenia (I_o).

Na potrzeby niniejszej pracy uzyskane wyniki badań uśredniono, a rezultaty pomiarów płytą statyczną odniesiono do wskazań zawartych w opracowaniach Kamińskiego (2012) oraz Czerniaka i Grajewskiego (2014).

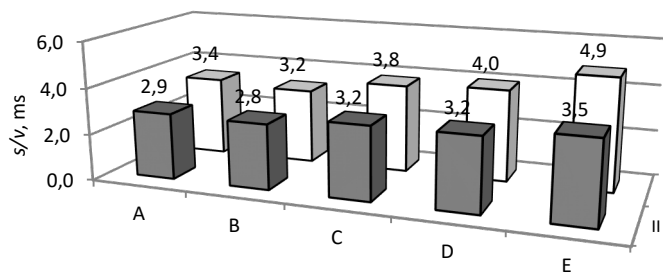
WYNIKI BADAŃ

Pod względem każdej z analizowanych cech, tj. zarówno E_{vd} i s/v (pomiar lekką płytą dynamiczną), jak i E_1 , E_2 , I_o (pomiar płytą VSS), odcinek doświadczalny E – wykonany z gruzu budowlanego wypada dużo gorzej w porównaniu z odcinkami, na których zastosowano różne warianty wzmocnienia geotkaniną i cienkimi warstwami kruszyw (rys. 1, 2, tab. 2, 3). Różnice wartości w ramach technologii wykorzystujących geotkaninę są niewielkie – szczególnie rezultatów uzyskanych w śladach kół (tab. 2). Pomiary prowadzone w osi drogi wykazały większe zróżnicowanie wartości, co wynika z dużo mniejszego stopnia zagęszczenia warstw nawierzchni w tej strefie jezdni. Zadowolające zagęszczenie, potwierdzone wartością zarówno s/v ($<3,00$ ms), jak i I_o ($\leq 2,2$), otrzymano jedynie w strefach śladów kół odcinków A i B. Zaobserwowane na pozostałych odcinkach obniżone wartości tych parametrów kwalifikują je do poprawienia zagęszczenia.



Rys. 1. Uśrednione wartości dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} zmierzone w osi jezdni (I) oraz w śladach kół (II) na poszczególnych odcinkach doświadczalnych (A–E)

Fig. 1. Averaged values of dynamic modulus deformation E_{vd} measured on the axis (I) and in the wheel tracks (II) for each experimental stretch (A–E)



Rys. 2. Uśrednione wartości s/v [ms] zmierzone w osi jezdni (I) oraz w śladach kół (II) na poszczególnych odcinkach doświadczalnych (A–E)

Fig. 2. Averaged values s/v measured on the axis (I) and in the wheel tracks (II) for each experimental stretch (A–E)

Tabela 2. Różnice w wartościach dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} i s/v uzyskanymi z pomiarów w osi jezdni między odcinkami doświadczalnymi A–E

Table 2. Differences in values of the dynamic modulus deformation E_{vd} and s/v obtained from measurements on the axis between of experimental stretch A–E

Różnica – Difference	E_{vd} , MN·m ⁻²	s/v , ms
1	2	3
A–B	-1,28	0,01
A–C	-3,12	0,36**

Tabela 2 cd. – Table 2 cont.

1	2	3
A–D	-4,60*	0,32**
A–E	13,35**	-0,34**
B–C	-1,85	0,35**
B–D	-3,33	0,31**
B–E	14,63**	-0,35**
C–D	-1,48	-0,04
C–E	16,48**	-0,70**
D–E	17,96**	-0,66**

*Istotność na poziomie $\alpha = 0,05$.

**Istotność na poziomie $\alpha = 0,01$.

*Significant on $\alpha = 0.05$.

**Significant on $\alpha = 0.01$.

Tabela 3. Średnie wartości pierwotnego E_1 i wtórnego E_2 modułu odkształcenia [MPa] oraz wskaźnika odkształcenia I_o uzyskane podczas badania jednoczynnikową płytą statyczną pięciu odcinków doświadczalnych (A–E)

Table 3. Mean value of primary deformation modulus E_1 and secondary deformation modulus E_2 [MPa] and the deformation rate I_o during the VSS (static plate load test) for five experimental stretch (A–E)

Parametr Parameter	Odcinki doświadczalne Research sections of the road experimental stretch				
	A	B	C	D	E
E_1	50	53	36	33	25
E_2	89	100	80	75	45
I_o	1,8	1,9	2,2	2,3	1,8

DYSKUSJA

Uzyskane wyniki badań potwierdzają, że zastosowane technologie budowy nawierzchni dają pozytywne wyniki i wskazują na możliwość ich wykorzystania w warunkach leśnych. Należy podkreślić, że uzyskane wartości parametrów nośności (w tym modułów odkształcenia E_1 i E_2 – tab. 3) nie pozwalają na udostępnienie wybudowanych

odcinków drogowych dla ruchu ciężkiego, np. pojazdom wywożącym drewno. Mogą one pełnić jedynie funkcję tzw. dróg technologicznych, m.in. wykorzystywanych do zrywki i podwozu drewna (Czerniak i Grajewski, 2014; Kamiński, 2012). Sytuację można zmienić, traktując obecne warstwy nawierzchni jako podbudowę drogową i wzmacniając je kolejną warstwą lub warstwami.

Rezultaty badań nośności nawierzchni drogowych, przeprowadzone lekką płytą dynamiczną oraz płytą statyczną, pomimo zachowania ogólnej zgodności, mogą być na tyle różne w poszczególnych przypadkach, że uniemożliwiają jednoznaczną ocenę danego odcinka drogowego (por. Grajewski i Czerniak, 2015). Dlatego wskazane byłoby przeprowadzenie większej liczby pomiarów płytą VSS w celu zebrania większej liczby danych pomiarowych.

Wskazane byłoby kontynuowanie badań i obserwacji na założonych drogowych odcinkach doświadczalnych, gdyż spodziewana różnica między geotkaniną ułożoną na płasko i zawiniętą do postaci półmateraca nie znalazła odzwierciedlenia w uzyskanych wynikach pomiarów. Można się spodziewać, że dopiero wpływ intensywnego ruchu drogowego pozwoli zauważyć takie różnice.

Testowane sposoby wzmacniania nawierzchni dróg na terenach bagiennych rokuja bardzo dobrze w kontekście nakładów inwestycyjnych. Tradycyjna metoda, wykorzystująca kruszony gruz budowlany, okazała się ponad dwukrotnie droższa, nawet w zestawieniu z najbardziej kosztownym rozwiązaniem wykorzystującym tłuczeń i półmaterac geotkaninowy.

WNIOSKI

1. Wszystkie warianty wzmocnienia konstrukcji nawierzchni wykonanych na bazie geotkaniny miały zbliżoną nośność, wykazując się zdecydowanie lepszymi parametrami w stosunku do technologii wykorzystującej gruz budowlany.

2. Znaczne różnice w wartościach badanych parametrów, określonych niezależnie dla stref osi i toru jazdy pojazdów, wskazują na konieczność zwrócenia szczególnej uwagi na prawidłowość zagęszczania poszczególnych warstw nawierzchni.

3. Wydaje się, że sposobem na uzyskanie większej zgodności pomiędzy wynikami badań lekką płytą dynamiczną oraz płytą statyczną jest zwiększenie liczby pomiarów płytą VSS na poszczególnych odcinkach drogowych.

4. W przeprowadzonych badaniach nie wykazano spodziewanych różnic w nośności nawierzchni między testowanymi technologiami wykorzystującymi różne warianty wzmacniania geotkaniną.

PIŚMIENNICTWO

- BN-64/8931-02. Drogi samochodowe. Oznaczanie modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą.
- Czerniak, A., Grajewski, S. (2014). Badanie nośności dróg – gwarancją solidności realizacji inwestycji. *Przeł. Leśn.*, 4, 10–12.
- Gradkowski, K. (2007). Geosyntetyki w budowie dróg – zasady stosowania geosyntetyków o n-ym kierunku wzmocnień. *Inż. Budown.*, 7/8, 60–66.
- Grajewski, S., Czerniak, A. (2015). Wykorzystanie lekkiej płyty dynamicznej do kontroli robót drogowych prowadzonych w lasach. *Przeł. Leśn.*, 10, 10–11.
- Instrukcja obsługi lekkiego ugięciomierza dynamicznego ZFG 3000. (2014). Niepublikowany maszynopis, Merzet, Poznań.
- Kamiński, B. (2012). Badania techniczne dróg leśnych. W: K. Jodłowski, A. Czerniak (red.), *Nowoczesne technologie budowy dróg, mostów i przepustów leśnych* (s. 47–51). *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 119. Warszawa: SITLiD, Wyd. Świat.
- Malkiewicz, J. (2011). Ocena geotekstyliów współdziałających z geogabionami w umocnieniach przeciwoerozyjnych. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #72. Pobrane z: http://www.npt.up-poznan.net/pub/art_5_72.pdf
- PN-S-02205:1998. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- Szpikowski, M., Dreger, M., Przygoda, M., Drózdź, R., Dąbrowski, M., Tokarczyk, ..., Żuławnik, P. (2005). Badanie i ustalenie zależności korelacyjnych dla oceny stanu zagęszczenia i nośności gruntów niespoistych płytą dynamiczną. Niepublikowany maszynopis, IBDiM, Laboratorium Geotechniki, Warszawa.

APPLICATION OF A GEOTEXTILE TO INCREASE THE BEARING CAPACITY FOREST ROADS IN WETLANDS

Abstract. In forests, a frequent problem is obtaining of road in wetlands. This road is characterized by natural – difficult conditions of soil-water road investment. These conditions are usually dictated by a high groundwater level and occurrence of low load-bearing organic soils. Using technology based on geotextiles can be reduce the costs of road construction and the degree of interference in the environment. This paper presents the results of an experiment, whose primary objective was to compare the performance bearing capacity the forest road surface made of crushed rubble of technologies using geotextile reinforcement road base. Five experimental stretch on a forest road running through wetlands were established in autumn 2014. Surface stretch E consists of crushed rubble, other stretches A-D consist of geotextile with track reinforcement. The track reinforcement consisted in adding stronger fibres to the geotextile on the width of two vehicle tracks, so that a higher performance could be achieved of both of geotextile puncture, elongation and tensile strength in the area of movement of trucks transporting wood on forest roads. On the two stretches of geotextile laid flat and other two stretches wrapping it into a semi-mattress and covered with varied medium sand or crushed granite. In 2015, measurements were carried out of terrain bearing capacity (E_{vd} , E_1 , E_2) and the level of density surface Light Weight Deflectometer (LWG) and VSS test (static plate load test). Studies have shown that all the variants

reinforcing the pavement structure made on the basis of geotextile had similar bearing capacity, while demonstrating significantly better performance compared to using technology rubble. At the same time studies have not shown the expected difference in bearing capacity surface between the tested technologies using different options to strengthen the geotextile.

Key words: forest road carrying capacity, Light Weight Deflectometer LWG, static plate VSS test

Received – Przyjęto: 27.10.2015 Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 22.12.2015

For citation – Do cytowania: Grajewski, S. M., Czerniak, A., Kasztelan, A., Kayzer, D., Szóstakowski, P. (2015). Zastosowanie geotkaniny do zwiększania nośności dróg leśnych na terenach bagiennych. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.*, 14(4), –311. DOI: 10.17306/J.AFW.2015.4.25