

**GRZEGORZ TRZCIŃSKI, SERGIUSZ KACZMARZYK**

## Ocena nośności gruntowych dróg leśnych\*

Estimation of the carrying capacity of the soil forest roads

**ABSTRACT**

Trzciniński G., Kaczmarzyk S. 2006. Ocena nośności gruntowych dróg leśnych. Sylwan 4: 65-72.

The objective of the study was to estimate the carrying capacity of forest roads with soil pavements. Deformation module and elastic deflection were used as characteristic parameters for road carrying capacity. 12 tested sections which were divided in groups were established 39 measurements using VSS and 66 measurements using deflectometr were made on all investigated segments. Average results of measurements were introduced in analysis from the particular group.

**KEY WORDS**

forest road, soil basement, carrying capacity of roads, pavement deflection

**ADDRESSES**

Grzegorz Trzciniński – Katedra Użytkowania Lasu; Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa; e-mail: trzcinski@delta.sggw.waw.pl

Sergiusz Kaczmarzyk – Katedra Użytkowania Lasu; Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa; e-mail: kaczmarzyk@delta.sggw.waw.pl

### Wstęp

Na terenie Lasów Państwowych w Polsce większość stanowią drogi gruntowe naturalne i profilowane – 86,8% oraz gruntowe ulepszone – 0,1% (dane PGL LP). Na podstawie analizy danych można stwierdzić, iż w leśnej sieci komunikacyjnej nadleśnictwa większość to drogi bez nawierzchni (grunt naturalny) mające służyć do wywozu drewna. Na drogach leśnych jest niewielkie natężenie ruchu [Antończyk 1989; Koczwański, Nowakowska-Moryl 1992; Trzciniński 2001], który przy wywozie drewna samochodami wysokotonażowymi charakteryzuje się dużym obciążeniem nawierzchni. Przyczynia się to do degradacji nawierzchni drogowej oraz środowiska leśnego [Bień 1987; Komorowski, Suwała, Jasnot 1990]. Podstawowym pytaniem jest więc: na ile drogi gruntowe są przystosowane do wywozu drewna zestawami wysokotonażowymi, przy możliwie najmniejszym uszkodzeniu nawierzchni? Jednocześnie podłoże drogowe – grunt i jego cechy fizyczne, mechaniczne oraz poziom wody gruntowej w znacznym stopniu wpływają na nośność nawierzchni drogowej [Pieńkos 1997; Czerniak 2004].

Prezentowane w dotychczas opublikowanych pracach wyniki badań dotyczą głównie nośności dróg leśnych o różnych konstrukcjach nawierzchni pomijając nawierzchnie gruntowe [Kamiński E. 1977; Kamiński B., Kokowski, Janaszek 1986; Kamiński B., Czerniak 2003; Czerniak 2004]. Badania nośności nawierzchni dróg leśnych w zależności od podłoża drogowego przedstawione zostały w opracowaniach Kamińskiego B. i Janaszek [1987], Kamińskiego B. i Czerniaka [2001]. Nośność samego podłoża drogowego została jedynie określona przed wykonaniem właściwej nawierzchni w badaniach pod kierunkiem Kamińskiego E. [1977] i Czerniaka [2004]. Autorzy badań uwzględniających podłoże drogowe potwierdzają jego znaczący wpływ na

\* Badania wykonano w ramach realizacji tematu finansowanego przez DGLP.

nośność nawierzchni dróg leśnych, który w wybranych przypadkach powoduje różnice dochodzące do 300% [Kamiński B., Czerniak 2001].

Uznano, że ważnym zagadnieniem badawczym jest przeanalizowanie nośności gruntowych dróg leśnych oraz podłoża gruntowych występujących na terenie leśnym, aby potwierdzić ich przydatność do ruchu pojazdów wysokotonażowych.

### Cel i zakres badań

Celem badań było określenie nośności nawierzchni gruntowych dróg leśnych na terenie nadleśnictwa, po których jeździły samochody wysokotonażowe. Zakres badań obejmował wybór odcinków próbnych, analizę konstrukcji nawierzchni, ocenę podłoża drogowego – gruntu, pomiar ugięć nawierzchni i wyznaczenie modułu odkształceń oraz ugięcia sprężystego nawierzchni.

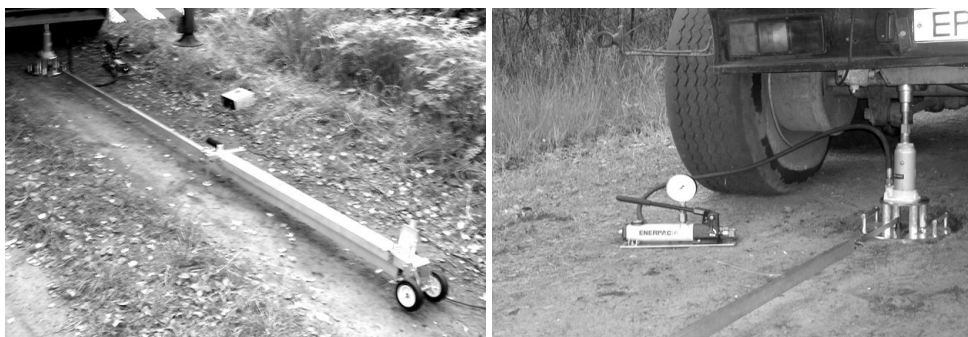
### Metodyka badań

Miarą nośności nawierzchni lub podłoża gruntowego jest moduł odkształcenia  $M_E$  w [MPa] określony zgodnie z normą (BN-64/8931-02). Wartość ugięcia sprężystego  $U_s$  w [mm] wskazuje na zdolność konstrukcji nawierzchni do przyjmowania obciążeń (BN-70/8931-06).

Do badań wybrano i oznakowano 12 odcinków na terenie Nadleśnictwa Gidle, w tym 6 w obrębie Dąbrowa, 4 w obrębie Gidle i 2 w Kruszynie. Odcinki próbne wybrano na podstawie podłoża drogowego i typu siedliskowego lasu. Rodzaj podłoża drogowego określono na podstawie map glebowych nadleśnictwa, a w wątpliwych przypadkach pobrano grunty do badań laboratoryjnych. Odcinki próbne o długość 10 m wybrano tak, aby charakteryzowały się jednorodną nawierzchnią i podłożem drogowym. Badania laboratoryjne obejmowały określenie składu granulometrycznego gruntów na podstawie analizy sitowej zgodnie z PN-B-04481.

Na odcinkach próbnych wykonano odkrywki nawierzchni na głębokość ok. 50 cm w celu określenia rzeczywistej konstrukcji nawierzchni.

Oznaczenie modułu odkształceń  $M_E$  nawierzchni i podłoża drogowego wykonano przy zastosowaniu płyty VSS o średnicy 30 cm zgodnie z BN-64/8931-02 z obciążeniem jednostkowym do 0,55 MPa, a  $M_E$  obliczono dla zakresu obciążenia jednostkowego 0,25-0,35 MPa. Pomiaru płytą VSS dokonano na powierzchni koleiny drogi, po jakiej poruszają się koła pojazdów. Na każdym odcinku wykonano co najmniej po 3 pomiary. Pomiary wykonano za pomocą płyty VSS współpracującej z belką Benkelmana o elektronicznym zapisie wyników, a jako przeciwagi użyto wysokotonażowych samochodów wywozowych (ryc. 1.). Na wszystkich odcinkach próbnych wykonano 39 pomiarów płytą VSS. Otrzymane wyniki z pomiarów i obliczone moduły



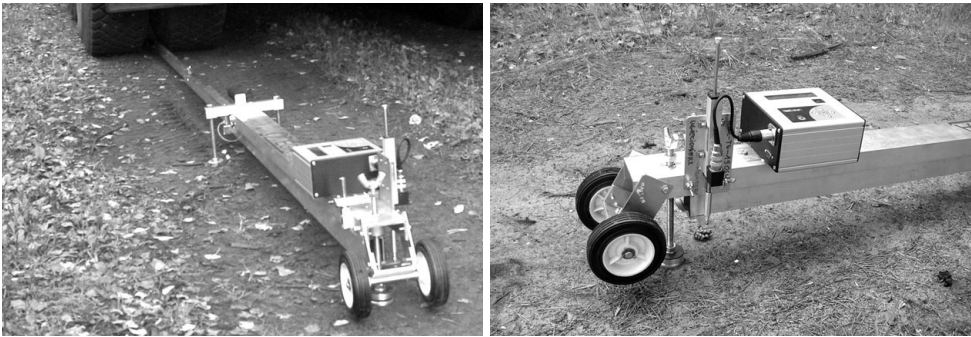
Ryc. 1.

Zestaw aparatury pomiarowej do badań VSS  
Set of measuring apparatus to VSS tests

odkształceń z pomiarów dla poszczególnych odcinków doświadczalnych uszeregowano według konstrukcji nawierzchni i rodzaju podłoża gruntowego oraz typu siedliskowego lasu, a następnie uśredniono, z podaniem wartości minimalnej i maksymalnej, a także sporządzono wykres średnich odkształceń.

Pomiar ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym Benkelmana wykonano na podstawie normy BN-70/8931-06 według wariantu I – obciążenie przy zjeździe i obliczono ugięcie sprężyste. Na odcinku doświadczalnym dokonano sześciu pomiarów, przy czym rozstaw między punktami wynosił 6 m, samochód odjeżdżał na żadaną odległość zgodnie z normą. Pomiar wykonywano między kołami bliźniaczymi tylnej osi samochodu wywozowego Volvo na powierzchni koleiny nawierzchni (ryc. 2). Dla otrzymanych 6 pomiarów obliczano ugięcie sprężyste, a następnie średnią dla odcinka, którą wykorzystywano w dalszych analizach i porównaniach.

Analizy statystyczne dotyczących modułów odkształceń i ugięcia sprężystego wykonano przy pomocy programu Statgraphics® Plus for Windows, gdzie badano istotność różnic pomiędzy grupami (analiza ANOVA i Multiple Range Tests).



Ryc. 2.

Pomiar ugięcia nawierzchni belką Benkelmana  
Measurement of deflection of pavement using Benkelman deflectometer

## Wyniki

ODCINKI WYBRANE DO BADAŃ. Charakterystykę punktów pomiarowych opartą na parametrach przyjętych w metodyce badań przedstawiono w tabeli 1. W celu przeprowadzenia analizy wyników odcinki doświadczalne połączono w grupy o zbliżonej konstrukcji nawierzchni, podłożu gruntowym i typie siedliskowym lasu. Wyodrębniono 5 grup odcinków o nawierzchni gruntowej od G1 do G5 (tab. 2).

WYNIKI BADAŃ ODKSZTAŁCEŃ PŁYTĄ VSS. Największe odkształcenie 12,56 [mm] przy maksymalnym obciążeniu 0,50 [MPa] stwierdzono dla nawierzchni gruntowej G5, na piasku drobnym (równomiernym) na terenie boru świeżego 1 (tab. 3). Jednocześnie ten odcinek charakteryzował się największym trwałym odkształceniem 9,49 [mm] po ustąpieniu obciążenia. Najmniejszymi parametrami odkształceń charakteryzowała się nawierzchnia gruntowa G1 z maksymalnym ugięciem 2,26 [mm] i po odciążeniu 0,95 [mm]. Zbliżone wyniki do wartości najlepszych otrzymano dla nawierzchni gruntowej G4, co przedstawiono na rycinie 3. Krzywe średnich odkształceń dla nawierzchni gruntowych charakteryzują się łagodnym spadkiem do wartości 4,37 mm. Wyjątkiem jest grupa nawierzchni gruntowej G5 o znacznych przyrostach odkształceń w zakresie 0,67-2,14 mm,

**Tabela 1.**  
Opis odcinków pomiarowych  
Characterization of tested sections

Nr punktu	Na drodze nr/obrzeź	Oddział Wydzielenie	Typ siedliskowy	Typ nawierzchni	Na podłożu (z mapy glebowej)
3	51/Gidle	140/p	Bśw <sup>1</sup>	gruntowa	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie
6	50/Gidle	151/j	Bśw <sup>1</sup>	gruntowa	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie
9	35/Gidle	61/f	Bśw <sup>1</sup>	gruntowa	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie
10	33/Gidle	69/c	Bśw <sup>1</sup>	gruntowa	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie
11	76/Dąbrowa	74/g – 75/g	BMśw <sup>1</sup>	gruntowa	Piaski luźne i słabo gliniaste do 1,6 m na piasku gliniastym
14	37/pożarowa Dąbrowa	158/c	Bśw <sup>1</sup>	gruntowa	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie
16	Dąbrowa przy parkingu od wojewódzkiej	192/d	BMśw <sup>2</sup>	gruntowa	Piaski luźne i słabo gliniaste do 1,6 m na piasku gliniastym
19	5/Kruszyna	32/g – 33/d	Bśw <sup>1</sup>	gruntowa	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie
21	1/Kruszyna	32/d – 33/a	Bśw <sup>1</sup>	gruntowa	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie
22	75/Dąbrowa	70/g	BMśw <sup>2</sup>	gruntowa z 5 cm żwiru	Piaski luźne i słabo gliniaste do 1,6 m na glinie średniej i zwięzłej
24	73/Dąbrowa	70/f	BMśw <sup>2</sup>	gruntowa	Piaski luźne i słabo gliniaste do 1,6 m na glinie średniej i zwięzłej
26	Droga skrajem lasu Dąbrowa	17/r	Bśw <sup>1</sup>	gruntowa z podsypką żwirową	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie

1 – siedlisko mniej wilgotne; 2 – siedlisko bardziej wilgotne

ze średnią 1,27 mm. Badane nawierzchnie z gruntów naturalnych są bardzo podatne na szybkie uszkodzenia, o czym świadczy trwałe odkształcenie 2,0-9,5 mm po ustąpieniu obciążenia.

Z wyliczeń największy 100,4 MPa średni moduł odkształceń otrzymano dla nawierzchni gruntowej z ciekłą warstwą żwiru (G1) (tab. 4). Dodatek żwiru do nawierzchni gruntowej, nawet w ilościach niestanowiących samodzielnych warstw, powoduje wzrost nośności, co potwierdzają

Tabela 2.

Utworzone grupy z odcinków doświadczalnych do analizy wyników  
Groups, created from tested section for results analysis

Grupa	Opis nawierzchni	Typ siedliskowy lasu	Rodzaj podłoża gruntowego	Nr odcinków doświadczalnych
G1	Gruntowa, gruntowa z domieszką żwiru	BMśw <sup>2</sup>	Piaski luźne i słabo gliniaste do 1,6 m na glinie średniej i zwięzłej	22 i 24
G2	Gruntowa	BMśw <sup>1</sup>	Piaski luźne i słabo gliniaste do 1,6 m na piasku gliniastym	11 i 16
G3	Gruntowa	Bśw <sup>1</sup>	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie	6, 9, 10, 14, 19 i 21
G4	Gruntowa z podłożem żwirowym	Bśw <sup>1</sup>	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie	26
G5	Gruntowa	Bśw <sup>1</sup>	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokie	3

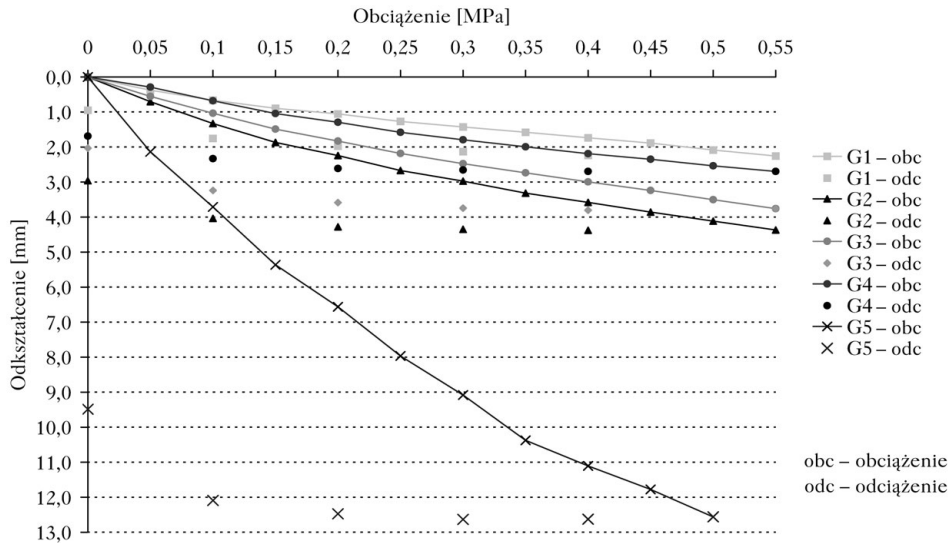
1 – siedlisko mniej wilgotne; 2 – siedlisko bardziej wilgotne

również otrzymane wyniki średniego  $M_E$  72,59 MPa dla grupy G4. Najmniejszymi modułami  $M_E$ , w zakresie od 9,96 do 18,07 MPa, charakteryzowała się nawierzchnia gruntowa (G5) z piasku drobnego. Obserwuje się duże zróżnicowanie jednostkowych modułów odkształceń dla gruntów naturalnych, pomimo występowania podobnych warunków terenowych. Na podstawie analizy statystycznej stwierdzono brak różnic pomiędzy wynikami modułu odkształceń dla grupy G2, G3 i G4 oraz pomiędzy G1 i G4.

Tabela 3.

Wartości średnich odkształceń w grupach nawierzchni gruntowych  
Mean values of deformation in groups of soil surfaces

Obciążenie [MPa]	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
Grupa nawierzchni	Odształcenie przy obciążeniu [mm]											
G1	0	0,38	0,66	0,9	1,05	1,27	1,43	1,58	1,74	1,89	2,09	2,26
G2	0	0,7	1,33	1,87	2,24	2,67	2,97	3,32	3,58	3,86	4,11	4,37
G3	0	0,55	1,03	1,49	1,83	2,18	2,47	2,74	2,99	3,24	3,5	3,76
G4	0	0,29	0,68	1,04	1,29	1,58	1,79	1,99	2,19	2,35	2,54	2,7
G5	0	2,14	3,71	5,36	6,56	7,97	9,08	10,38	11,11	11,78	12,56	
	Odształcenie przy odciążeniu [mm]											
G1	0,95				1,98		2,13		2,24			2,26
G2	2,96				4,28		4,35		4,38			4,37
G3	2,03				3,59		3,75		3,81			3,76
G4	1,69				2,61		2,66		2,7			2,7
G5	9,49				12,47		12,63		12,63			12,56



Ryc. 3.

Wykres odkształceń powierzchni gruntowych  
Deformation curves of soil surfaces

Tabela 4.

Wartości modułu odkształceń  $M_E$  dla powierzchni według grup  
Deformation module  $M_E$  values for surfaces according to groups

Grupa nawierzchni	Wartość modułu odkształceń $M_E$ [MPa]		
	minimalna	maksymalna	średnia
G1	83,33	111,11	100,40
G2	33,33	65,22	44,55
G3	36,14	111,11	59,77
G4	71,43	73,17	72,59
G5	8,96	18,07	13,51

WYNIKI BADAŃ UGIĘCIA SPRĘŻYSTEGO. Zgodnie z przyjętą metodyką wyliczono średnie ugięcie (z 6 pomiarów) dla odcinka badawczego, a następnie została obliczona średnia dla danej grupy nawierzchni z podaniem wartości minimalnej i maksymalnej ugięcia (tab. 5). Dla nawierzchni gruntowej z podłożem żwirowym (G4) otrzymano ugięcie sprężyste w zakresie 0,78-1,26 ze średnią 1,40, a dla samych gruntów naturalnych z grupy G3 od 0,26 do 2,60 ze średnią 1,40. Przy wykorzystaniu do badań ugięciomierza Benkelmana dla dróg gruntowych, w przypadku braku prawidłowego zagęszczenia górnej warstwy nawierzchni (luźne piaski) otrzymuje się niemiernodajne wyniki, ze względu na zagłębienie czujnika w miękką nawierzchnię. Przykładem tego są otrzymane wyniki dla gruntu piasku drobnego równoziarnistego (G5). Statystycznie potwierdzono podobieństwo wyników jedynie pomiędzy grupą G2 i G3 oraz G3 i G4.

## Dyskusja

Nośności nawierzchni gruntowych (podłoża naturalnego na piaskach drobnych i średnich) bez ulepszenia (grupy G2, G3 i G5) określone średnim modułem odkształcenia 13,5 i 44,5 oraz 59,7 MPa, są porównywalne z wynikami otrzymanymi dla piasku średniego równoziarnistego

Tabela 5.

Wartość średniego ugięcia sprężystego dla nawierzchni według grup  
Mean values of elastic deflection for surfaces according to groups

Grupa nawierzchni	Wartość ugięcia sprężystego		
	minimalna	maksymalna	średnia
G1	–	–	–
G2	0,34	2,68	1,82
G3	0,26	2,60	1,05
G4	0,78	1,26	1,40
G5	0,06	0,56	0,26

w zakresie od 10,0 do 59,8 MPa opublikowanymi przez Kamińskiego E. [Kamiński E. red. 1977]. Czerniak badając podłoże gruntowe z piasków gliniastych zaliczonych do gruntów wysadzinowych otrzymał nośności  $M_E$  10-12 MPa [Czerniak 2004], co spowodowało konieczność dowiedzenia innego gruntu. W przeprowadzonych badaniach analizowano jednak grunty, które stanowiły samodzielną nawierzchnię. W większości badane podłoża gruntowe, poza gruntem z grupy G5 – piasek drobny równoziarnisty (luźny) charakteryzowały się nośnością  $M_E \geq 15$  MPa wymaganą dla podłoża drogowego [Rolla 1985]. Na sześciu odcinkach badawczych (z grupy G2 i G3) otrzymano nośności podłoża gruntowego  $M_E \geq 40$  MPa pozwalające na zastosowanie go jako dolnej warstwy podbudowy lub ulepszonego podłoża [Rolla 1985], jednak nie jako samodzielnej nawierzchni.

## Wnioski

- ♣ Nawierzchnie gruntowe charakteryzują się dużym trwałym odkształceniem, co powoduje, że są podatne na znaczne uszkodzenia nawet przy bardzo małym natężeniu ruchu pojazdów.
- ♣ Nawierzchnie gruntowe ulepszone domieszką żwiru posiadają dwa razy większe parametry nośności.
- ♣ Nawierzchnie z gruntów naturalnych są o małej nośności i mogą stanowić jedynie dolną warstwę podbudowy lub wzmocnione podłoże drogowie.

## Literatura

- Antończyk S. 1989. Ładunki przewożone drogami leśnymi i ich zróżnicowanie. Sylwan 3.
- Bień B. 1987. Ekonomiczne aspekty doboru nacisków osi pojazdów samochodowych na nawierzchnie dróg. Auto-Technika Motoryzacyjna 5.
- BN-64/8931-02. Drogi samochodowe. Oznaczenie modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą.
- BN-70/8931-06. Drogi samochodowe. Pomiar ugięć nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym.
- Czerniak A. 2004. Nośność cementowogruntowych dróg leśnych. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk Wydział Nauk Rolniczych i Leśnych, Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych 96.
- Kamiński B., Kokowski J., Janaszek K. 1986. Moduły odkształceń leśnych dróg gruntowych stabilizowanych popiołami lotnymi po 10-letnim okresie eksploatacji. Rocznik AR W Poznaniu. Leśnictwo 22.
- Kamiński B., Janaszek K. 1987. Ocena nośności bitumowanej drogi leśnej na różnych podbudowach. Sylwan 1.
- Kamiński B., Czerniak A. 2001. Wpływ podłoża gruntowego na nośność nawierzchni tłuczniowych. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk Wydział Nauk Rolniczych i Leśnych, Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych 90.
- Kamiński B., Czerniak A. 2003. Ocena stanu nawierzchni leśnej drogi tłuczniowej w Puszczy Noteckiej po dwuletnim okresie eksploatacji. Sylwan 6.
- Kamiński E. i inni. 1977. Badania cech wytrzymałościowych nawierzchni drogowych i sposobów umacniania gruntów substancjami wiążącymi. Maszynopis Biblioteka SGGW. Warszawa.
- Koczwański S., Nowakowska-Morył J. 1992. Badanie ruchu drogowego na wybranych drogach leśnych w Nadleśnictwie Krzeszowice. Sylwan 10.

Komorowski, Suwała, Jasno. 1990. Badania wzorców środków transportowych do drewna. Porównanie zestawów wywozowych Sisu, Iveco, Tam. Biuletyn IBL 2. Warszawa.

Pieńkos K. 1997. Rola warunków gruntowo-wodnych w inżynierskim zagospodarowaniu lasów. Sylwan 3.

Rolla S. 1985. Badanie materiałów i nawierzchni drogowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa.

Trzeciński G. 2001. Analiza struktury ruchu w leśnej sieci komunikacyjnej na przykładzie wybranych nadleśnictw. Maszynopis Biblioteka SGGW. Warszawa.

## SUMMARY

### Estimation of the carrying capacity of the soil forest roads

Almost 87% of roads in National Forest natural has soil pavements, which should tolerate to traffic of high-tonnage vehicles to the transport of wood. The carrying capacity of the surface is dependent, to a considerable degree, on its structure. However, road basement is an equal factor – soil with physical, mechanical features and groundwater.

The objective of the study was to estimate the carrying capacity of natural soil pavements existing in the forest road network. Deformation module  $M_E$  MPa, which was estimated by VSS, is a parameter of carrying capacity of soil basement. Elastic deflection value  $U_s$  mm estimated by Benkelman deflectometr, was adopted as second parameter marking the ability of road basement to adopt loads.

Studies were carried out on 12 tested sections, established on different forest road with changeable soil and habitat conditions. Tested sections were connected into G1-G5 groups being characterized by similar features. 39 measurements using VSS and 66 measurements using Benkelman deflectometer were made.

In great part, tested soil basements were characterized by suitability for road surfaces  $M_E \geq 15$  MPa. Adding a small amounts of gravel to natura soil considerably improved carrying capacity of soil pavement, even up to 111 MPa.