

GRZEGORZ TRZCIŃSKI

## Nośności żuźlowych i żwirowych nawierzchni dróg leśnych\*

Carrying capacity of slag and gravel forest road pavements

### ABSTRACT

Trzciński G. 2007. Nośności żuźlowych i żwirowych nawierzchni dróg leśnych. Sylwan 7: 49-57.

The objective of the study was to estimate the carrying capacity of forest roads with slag and gravel pavements. Deformation module and elastic deflection were used as characteristic parameters of road carrying capacity. There were established 12 tested sections divided in groups. All investigated sections were measured using VSS plate (38 measurements) and deflectometer (65 measurements). Averaged results of the measurements from the particular pavements were introduced in analysis. The present study proved that carrying capacity of slag and gravel pavements defined according to mean module  $M_E$  is insufficient. The largest (145.48 MPa) mean deformation module was detained for slag pavement.

### KEY WORDS

forest road, road carrying capacity, pavement deflection, gravel pavement, slag pavement

### ADDRESSES

Grzegorz Trzciński – Katedra Użytkowania Lasu SGGW;  
ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa; e-mail: grzegorz\_trzcinski@sggw.pl

### Wstęp

Na terenie Lasów Państwowych drogi o nawierzchni żwirowej stanowią 4,0%, a o nawierzchni żuźlowej 3,6% i są to najczęściej występujące nawierzchnie po drogach gruntowych (86,9%) [dane PGL LP z 1985 r.]. Jednowarstwowe nawierzchnie żwirowe i żuźlowe o grubości 12-15 cm wykonywane są na drogach leśnych trzeciej kategorii (o masie transportowanego drewna, mniejszej niż 5 tys. m<sup>3</sup>/rok przy średnim obciążeniu 1-3 pojazdów ciężarowych o nacisku pojedynczej osi 100 kN na dobę, a mniej niż 6 pojazdów porównawczych (p.p.) o nacisku 80 kN [Sidorowicz i in. 1990]). Nawierzchnie dwuwarstwowe o grubości 24-28 cm zalecane są dla dróg drugiej kategorii o zwiększonym ruchu samochodów wywozowych, to jest o przewidywanej masie transportowanego drewna 5-10 tys. m<sup>3</sup>/rok (tj. 4-7 pojazdów lub 6-13 p.p.). W rzeczywistości wiele dróg o nawierzchni żwirowej lub żuźlowej nie posiada warstw odpowiedniej grubości, a jedynie wzmocnioną wierzchnią warstwę podłoża drogowego. Konieczne jest przeanalizowanie nośności faktycznie występujących konstrukcji nawierzchni żwirowych i żuźlowych dróg leśnych.

Przedstawiane w literaturze wyniki badań nośności nawierzchni dróg leśnych pomijają nawierzchnie żwirowe i żuźlowe. Badania nawierzchni z gruntów stabilizowanych cementem przedstawił Kamiński [1977] i Czerniak [2004], stabilizowanego wapnem Kamieński [1977], a stabilizowanych popiołami lotnymi po dziesięciu latach eksploatacji Kamiński i in. [1986]. Kamiński, Janaszek [1987] oceniają nośności nawierzchni z dywanikiem smoło-betonowym na różnych podbudowach. Nośność i odkształcenie nawierzchni z dywanikiem bitumicznym na

\* Badania wykonano w ramach realizacji tematu finansowanego przez DGLP

podbudowie z kamieni wapiennych i na różnym podłożu (mineralnym, torfowym) przedstawił Martin i in. [1999]. Wpływ podłoża gruntowego na nośność nawierzchni tłuczniowej przedstawił Kamiński i Czerniak [2001, 2003]. W opracowaniu Mcfarlana i in. [1975] przedstawiono badania metodą belki Benkelmana na leśnych drogach asfaltowych w Kanadzie. Parametry nawierzchni na podłożu torfowym badał O'Mahony i in. [2000].

## Cel i zakres badań

Celem badań było określenie nośności konstrukcji nawierzchni żwirowych i żuźlowych dróg leśnych występujących w terenie na różnych podłożach gruntowych. Autor zakłada, że prawidłowo wykonane nawierzchnie zgodnie z zaleceniami branżowymi, będą miały odpowiednią nośność dla przewidywanego ruchu pojazdów. Zakres badań obejmował wybór odcinków próbnych, analizę konstrukcji nawierzchni, ocenę podłoża drogowego, pomiar odkształceń nawierzchni i wyznaczenie modułu odkształceń oraz ugięcia sprężystego nawierzchni.

## Metodyka badań

Nośność nawierzchni określono na podstawie modułu odkształcenia  $M_E$  w [MPa] zgodnie z normą (BN-64/8931-02). Oznaczenie modułu odkształceń  $M_E$  nawierzchni i podłoża drogowego wykonano przy zastosowaniu płyty VSS o średnicy 30 cm z obciążeniem jednostkowym do 0,55 MPa, a  $M_E$  obliczono dla zakresu obciążenia jednostkowego 0,25-0,35 MPa. Na wszystkich odcinkach próbnych wykonano 38 pomiarów płytą VSS. Otrzymane wyniki z pomiarów i obliczone moduły odkształceń z pomiarów dla poszczególnych odcinków doświadczalnych uśredniono, z podaniem wartości minimalnej i maksymalnej, a także wykonano wykres średnich odkształceń.

Pomiaru ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym Benkelmana wykonano na podstawie normy BN-70/8931-06 według wariantu I – obciążenie przy zjeżdżaniu i obliczono ugięcie sprężyste. Na odcinku doświadczalnym wykonano sześć pomiarów, dla których obliczano ugięcie sprężyste, a następnie średnią dla odcinka.

Analizy statystyczne dotyczące modułów odkształceń i ugięcia sprężystego wykonano za pomocą programu Statgraphics® Plus for Windows, gdzie badano istotność różnic pomiędzy nawierzchniami (analiza ANOVA i Multiple Range Tests).

Metodyka badań nośności nawierzchni żuźlowych i żwirowych jest podobna do opisanej dokładnie metodyki pomiarów na drogach gruntowych przez autora w artykule „Ocena nośności gruntowych dróg leśnych” [Trzciniński, Kaczmarzyk 2006].

Na podstawie literatury przyjęto, że moduł odkształcenia  $M_E < 100$  [MPa] dla nawierzchni jest niedostateczny, a wartość  $100 < M_E < 130$  [MPa] jest dostateczna i spełnia wymagania dla ruchu lekkiego. Dobra nośność nawierzchni charakteryzuje się modułem  $130 < M_E < 200$  [MPa] i przystosowana jest do ruchu średniego, przy  $200 < M_E < 400$  [MPa] nawierzchnia jest bardzo dobra i może odbywać się ruch ciężki [Kamiński red. 1977; Rolla 1979].

## Wyniki i dyskusja

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW BADAWCZYCH. Do badań wybrano i oznakowano odcinki dróg wstępujących w leśnej sieci komunikacyjnej Nadleśnictwa Gidle, w którym stosuje się maszynowe pozyskanie drewna i wywóz samochodami wysokotonażowymi. Wyznaczono 12 odcinków dróg o różnej konstrukcji nawierzchni i warunkach terenowych. Siedem z nich zlokalizowano na drogach o nawierzchni żuźlowej, w tym 4 na drogach o górnej warstwie z żuźla i innej podbudowie – z piasku lub niesortu kamiennego. Z nawierzchnią żwirową wybrano 4 odcinki i jeden na na-

Tabela 1.

Charakterystyka punktów pomiarowych  
Characteristics of the test-points

Symbol odcinka	Nr drogi	Typ siedliskowy	Typ nawierzchni	Grubość nawierzchni nawierzchnia/podbudowa	Na podłożu (z mapy glebowej)
Ż1	51	BMśw2*	żuźłowa	10 cm żuźła 15 cm piasku	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokite
Ż2	51	Bw1	żuźłowa	18-20 cm żuźła	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokite
Ż3	70	Bśw1/Bw1	żuźłowa	5-7 cm żuźła z domieszczą żwiru	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokite
Ż4	91	BMśw2	żuźłowa	12-14 cm żuźła	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokite
Ż5	42	BMśw2	żuźłowa	ok. 10 cm żuźła ok. 25-28 cm niesortu kamiennego	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokite
Ż6	42	Bśw1	żuźłowa	ok. 10 cm żuźła ok. 25-28 cm niesortu kamiennego	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokite
Ż7	42	Bśw2	żuźłowa	ok. 10 cm żuźła ok. 25-28 cm niesortu kamiennego	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokite
Żw1	przy 33	Bśw1	żwirowa	ok. 25 cm żwiru	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokite
Żw2	przy 35	Bśw1	żwirowa	22-25 żwiru	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokite
Żw3	przedłużenie drogi nr 94	BMśw2	żwirowa	12-15 cm żwiru	Piaski luźne i słabo gliniaste do 1,6 m na piasku gliniastym
Żw4	71	Bśw1	żwirowa	10-12 żwiru	Piaski luźne i słabo gliniaste głębokite
Żwt	73	BMśw2	żwirowo- tłuczniowa	5 cm żwiru 12-15 tłucznia	Piaski luźne i słabo gliniaste do 1,6 m na glinie średniej i zwięzłej

\* 1 – siedlisko mniej wilgotne; 2 – siedlisko bardziej wilgotne

\* 1 – less wet habitat; 2 – more wet habitat

wierzchni żwirowo-tłuczniowej. Charakterystykę odcinków badawczych: numer drogi, typ siedliskowy lasu, typ nawierzchni, grunt podłoża wraz z podaniem symbolu odcinka zestawiono w tabeli 1. Na odcinkach badawczych Ż1 i Ż2 jest nawierzchnia żuźłowa o grubości konstrukcji przewidzianej dla drugiej kategorii drogi – zwiększony ruchu pojazdów. Konstrukcja nawierzchni na odcinku Ż4 spełnia wymagania normatywu dla dróg trzeciej kategorii o małym obciążeniu ruchem. Na odcinku Ż3 nawierzchnia jest o małej grubości i nie spełnia wymagań stawianych dla konstrukcji jednowarstwowych, można to traktować jako wzmocnienie podłoża drogowego. Konstrukcja nawierzchni na odcinkach badawczych Ż5-Ż7 jest przykładem wykorzystania materiałów odpadowych na drogach leśnych i z racji grubości warstw przystosowana powinna być do ruchu dla drogi drugiej kategorii. Wierzchnia warstwa grubości 10-12 cm wykonana jest z żuźła paleniskowego, a podbudową jest niesort kamienny (odpad z kamieniołomów).

Nawierzchnie żwirowe Żw3 i Żw4 są nawierzchniami jednowarstwowymi przewidzianymi dla dróg o małym obciążeniu, a na odcinkach Żw1 i Żw2 grubość nawierzchni przewidziana jest dla drugiej kategorii drogi leśnej.

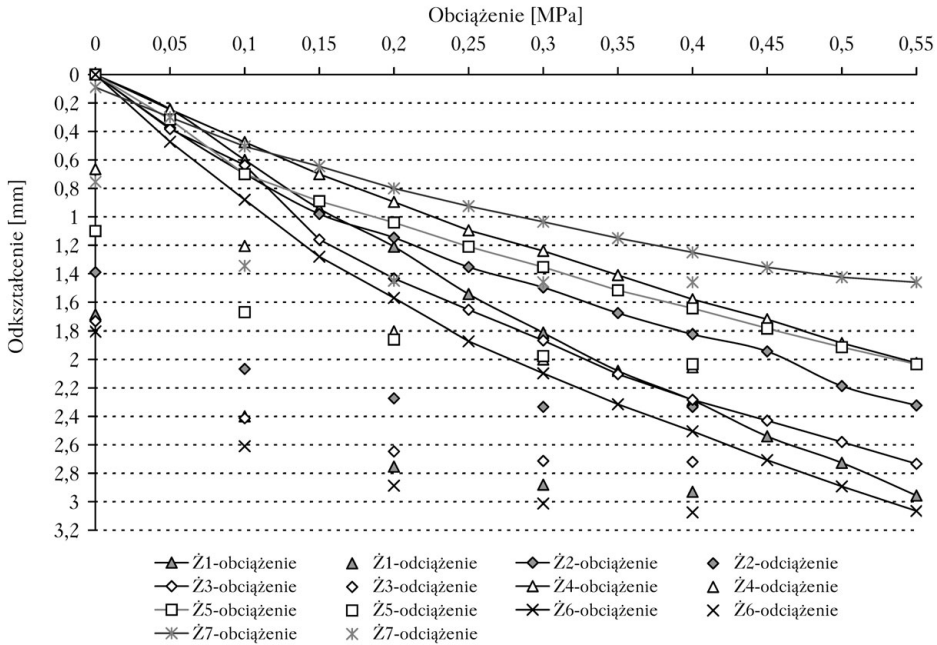
WYNIKI BADAŃ ODKSZTAŁCEŃ PŁYTĄ VSS. Najmniejsze ugięcie 1,46 mm przy maksymalnym obciążeniu 0,55 MPa zaobserwowano dla nawierzchni żuźłowej na podbudowie z niesortu kamiennego (Ż7) na podłożu drogowym z piasków luźnych i słabo gliniastych w Bśw 2, która jednocześnie charakteryzowała się niskim trwałym odkształceniem 0,76 mm po ustąpieniu siły naciskającej (tab. 2). Jednocześnie dla tego samego typu nawierzchni i podłoża drogowego (droga nr 42 z odcinkami próbnymi Ż5, Ż6, Ż7) otrzymano największe odkształcenie 3,07 mm na odcinku Ż6 na typie siedliskowym lasu Bśw1. Nawierzchnia żuźłowa jednowarstwowa (Ż4) charakteryzowała się mniejszym odkształceniem (2,03 mm i 0,67 mm) niż nawierzchnie dwuwarstwowe na takim samym podłożu drogowym co (Ż5 i Ż6).

Analizując krzywe odkształceń dla nawierzchni żuźłowych można stwierdzić, iż układ ich nie zależy od ilości i grubości warstw konstrukcyjnych (ryc. 1). Łagodny jednostajny przebieg krzywej odkształceń otrzymano dla nawierzchni Ż7 znajdującej się na siedlisku Bśw 2. Jedno-

Tabela 2.

Wartości średnich odkształceń dla nawierzchni żuźłowych  
Mean values of deformations for slag pavements

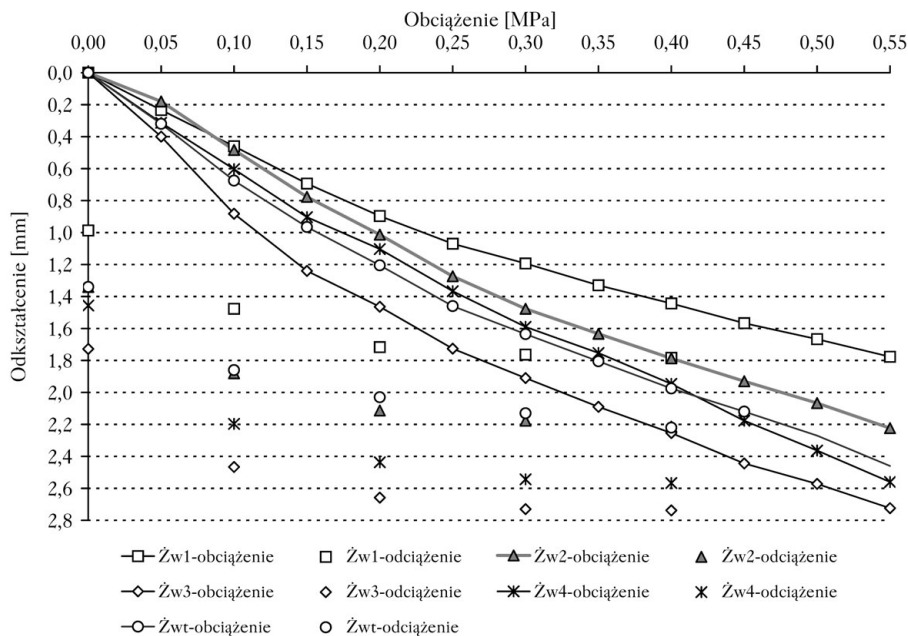
Obciążenie [MPa]	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
Symbol nawierzchni	Odkształcenie przy obciążeniu [mm]											
Ż1	0	0,24	0,60	0,94	1,21	1,54	1,81	2,08	2,29	2,54	2,73	2,96
Ż2	0	0,37	0,70	0,98	1,15	1,35	1,50	1,68	1,82	1,94	2,19	2,32
Ż3	0	0,38	0,64	1,16	1,43	1,65	1,87	2,10	2,28	2,43	2,58	2,73
Ż4	0	0,25	0,48	0,70	0,9	1,10	1,24	1,41	1,58	1,72	1,89	2,03
Ż5	0	0,32	0,70	0,89	1,04	1,21	1,35	1,52	1,64	1,78	1,91	2,03
Ż6	0	0,47	0,88	1,28	1,57	1,87	2,1	2,32	2,51	2,71	2,89	3,07
Ż7	0	0,30	0,51	0,65	0,8	0,93	1,04	1,15	1,25	1,36	1,43	1,46
	Odkształcenie przy odciążeniu [mm]											
Ż1	1,69		2,40		2,75		2,88		2,93			2,96
Ż2	1,39		2,07		2,27		2,33		2,33			2,32
Ż3	1,73		2,41		2,65		2,71		2,72			2,73
Ż4	0,67		1,21		1,81		2,00		2,06			2,03
Ż5	1,10		1,67		1,86		1,98		2,03			2,03
Ż6	1,81		2,61		2,89		3,01		3,08			3,07
Ż7	0,76		1,35		1,45		1,46		1,46			1,46


**Ryc. 1.**

Krzywe odkształceń dla nawierzchni żuźlowych  
 Deformation curves for slag pavements

warstwowa konstrukcja nawierzchni Ż4 przyjmuje obciążenia podobnie jak dwuwarstwowe Ż2 i Ż5. Nawierzchnia żuźłowa (Ż3) o grubości 5 cm żuźła charakteryzuje się znacznym przyrostem odkształcenia 0,52 mm między obciążeniem 0,10 MPa a 0,15 MPa, a przy dalszym obciążeniu zachowuje się jak Ż1 – dwuwarstwowa. Zastanawiający jest najgorszy (największe odkształcenia) przebieg krzywej odkształceń dla odcinka z nawierzchnią Ż6, o tak mocnej konstrukcji co Ż7 na tej samej drodze nr 42. Zaobserwowane znaczne przyrosty odkształceń na poziomie 0,25-0,52 mm przy wzroście obciążenia o 0,05 MPa dla nawierzchni Ż1, Ż3 i Ż6, wskazują na słabe ich zagęszczenie.

Najmniejszymi (1,78 i 0,99 mm) wartościami odkształceń otrzymanymi dla nawierzchni żwirowej charakteryzuje się odcinek badawczy Żw1, o największej grubości warstwy żwiru. Na podłożu piasku luźnego i słabo gliniastego na typie siedliskowym lasu Bśw1 wystąpiły dwie nawierzchnie żwirowe (Żw1 i Żw2) o zbliżonej grubości nawierzchni, jednak o różnym przebiegu krzywej odkształceń, gdzie średnio wyniki różnią się do 0,4 mm (ryc. 2). Najgorzej przyjmuje obciążenia nawierzchnia żwirowa jednowarstwowa (Żw3) na piasku gliniastym na siedlisku BMśw2, z maksymalnym odkształceniem 2,72 mm i 1,73 mm po zakończeniu badania, z jednoczesnym dużym wzrostem odkształcenia przy zwiększającym się nacisku. Odcinki próbne Żw3 i Żw4 o zbliżonej grubości nawierzchni żwirowej, ale na innym podłożu gruntowym i przy innych warunkach siedliskowych (Żw3 na BMśw2, Żw4 na Bśw1) charakteryzują się dużą różnicą w przebiegu krzywej odkształceń, co może wskazywać na wpływ podłoża drogowego na parametry nośności nawierzchni. Rozkład odkształceń dla nawierzchni żwirowo-tłuczniowej (Żwt) na słabym podłożu drogowym (tab. 3) przy zwiększaniu obciążenia jest podobny do charakterystyki otrzymanej dla Żw4, a przy odciążeniu do Żw2.



Ryc. 2.

Krzywe odkształceń nawierzchni żwirowych  
Deformation curves for gravel pavements

Tabela 3.

Wartości średnich odkształceń dla nawierzchni żwirowych  
Mean values of deformations for gravelly pavements

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
Symbol nawierzchni	Odształcenie przy obciążeniu [mm]											
Żw1	0	0,23	0,46	0,69	0,90	1,07	1,19	1,33	1,44	1,57	1,67	1,78
Żw2	0	0,18	0,48	0,78	1,01	1,27	1,48	1,63	1,79	1,93	2,07	2,22
Żw3	0	0,40	0,88	1,24	1,46	1,73	1,91	2,09	2,25	2,44	2,57	2,72
Żw4	0	0,31	0,60	0,90	1,10	1,37	1,59	1,75	1,95	2,18	2,36	2,56
Żwt	0	0,32	0,68	0,97	1,21	1,46	1,64	1,81	1,98	2,12	2,27	2,46
	Odształcenie przy odciążeniu [mm]											
Żw1	0,99		1,48		1,72		1,76		1,78			1,78
Żw2	1,34		1,88		2,11		2,18		2,21			2,22
Żw3	1,73		2,47		2,66		2,73		2,74			2,72
Żw4	1,46		2,20		2,44		2,54		2,57			2,56
Żwt	1,34		1,86		2,03		2,13		2,22			2,46

Na podstawie wyników z badań VSS obliczono średnią oraz minimalną i maksymalną wartość modułu odkształceń dla poszczególnych nawierzchni (tab. 4). Największym 145,48 MPa średnim modułem odkształceń charakteryzuje się nawierzchnia żuźłowa Ż7, a wśród nawierzchni żwirowych Żw1 (122,87 MPa). Trzy nawierzchnie żuźłowe Ż5 i Ż2 oraz Ż4 przy znaczących różnicach w konstrukcji nawierzchni mają bardzo zbliżone moduły odkształceń (98,59 i 98,26 i 94,84 MPa). Analiza wariancji (ANOVA) wykazała istotną różnicę pomiędzy modułami odkształceń dla badanych nawierzchni. Porównując moduły odkształceń testem „Multiple Range

Tests” wskazano istotną różnicę między wynikami dla nawierzchni żwirowych Żw1 a Żw2 i Żw3. Istotną statystycznie różnicę wykazano także dla nawierzchni żuźlowej Ż7 w stosunku do pozostałych konstrukcji oraz pomiędzy Ż1 a Ż2 i Ż5. Według maksymalnych modułów odkształceń  $M_E$  pięć nawierzchni (Ż2, Ż4, Ż5, Żw2 oraz Żwt) spełniało wymagania stawiane dla ruchu lekkiego ( $M_E=100-130$  MPa), a trzy Ż7, Żw1 i Żw4 dla ruchu średniego –  $M_E=130+-200$  MPa [Rolla 1977]. Przyjmując jednak wartości średnie jako charakteryzujące daną nawierzchnię, stwierdzić trzeba, że już tylko nawierzchnia żwirowa Żw1 spełnia wymagania dla ruchu lekkiego, a nawierzchnia żuźłowa Ż7 dla ruchu średniego. Pozostałe nawierzchnie uzyskały średnie moduły odkształceń  $M_E$  poniżej 100 MPa, co według Kamińskiego jest niedostateczną nośnością dla dróg leśnych [Kamiński red. 1977]. Brak statystycznej różnicy między modułami odkształceń nawierzchni o różnej grubości (Żw1, Żw4 i Ż4 oraz Ż6) potwierdza to, że na nośność nawierzchni wpływają czynniki inne niż podłoże drogowe (np. prawidłowość wykonania). Zjawisko to zaobserwowali również w przedstawionych badaniach Kamiński i Czerniak [2001, 2003].

**Tabela 4.**

Wartości modułu odkształceń  $M_E$  dla nawierzchni  
Deformation module  $M_E$  for pavements

Grupa nawierzchni	Wartości modułu odkształceń $M_E$		
	minimalny	maksymalny	średni
Ż1	46,15	78,95	58,94
Ż2	69,77	125,00	98,26
Ż3	55,56	81,08	68,27
Ż4	90,91	100,00	94,84
Ż5	90,91	111,11	98,59
Ż6	52,63	88,24	70,58
Ż7	103,45	187,50	145,48
Żw 1	85,71	157,89	122,87
Żw 2	43,48	111,11	76,67
Żw 3	65,22	96,77	84,57
Żw4	60,00	130,43	86,73
Żwt	75,00	103,45	89,23

**Tabela 5.**

Wartość średniego ugięcia sprężystego [mm] dla nawierzchni  
Mean values elastic deflection [mm] for pavements

Grupa nawierzchni	Wartość ugięcia sprężystego		
	minimalna	maksymalna	średnia
Ż1	0,74	1,92	1,43
Ż2	0,06	1,14	0,65
Ż3	1,38	3,58	2,26
Ż4	2,00	4,46	2,91
Ż5	0,44	2,00	1,12
Ż6	1,44	1,88	1,67
Żw 1	0,06	1,26	0,79
Żw 2	1,50	1,90	1,67
Żw 3	1,50	2,44	1,85
Żw4	1,30	2,86	2,04

WYNIKI BADAŃ UGIĘCIA SPRĘŻYSTEGO. Zgodnie z przyjętą metodyką wyliczono średnie ugięcie  $U_s$  (z szóstego pomiaru) dla odcinka próbnego, a następnie została obliczona średnia dla danej grupy nawierzchni. Wśród nawierzchni żuźlowych najmniejsze (0,65 mm) średnie ugięcie sprężyste otrzymano dla  $\dot{Z}2$ , a dla nawierzchni żwirowych (1,42 mm) w grupie  $\dot{Z}w1$  (tab. 5). Występują statystycznie istotne różnice w otrzymanych wynikach ugięcia sprężystego między nawierzchniami. Podobne są jedynie wyniki dla odcinków  $\dot{Z}w2$  i  $\dot{Z}w3$  i  $\dot{Z}w4$ . Wyniki  $U_s$  dla nawierzchni żuźlowych są podobne dla odcinków:  $\dot{Z}5$  do  $\dot{Z}1$ ,  $\dot{Z}2$  i  $\dot{Z}6$  oraz pary  $\dot{Z}3$ - $\dot{Z}4$  i  $\dot{Z}1$ - $\dot{Z}6$ .

## Wnioski

- ✦ Badania wykazały, że nośność większości nawierzchni żuźlowych i żwirowych określona według średniego modułu odkształceń  $M_E$  jest niedostateczna.
- ✦ Niektóre nawierzchnie żwirowe i żuźłowe dwuwarstwowe (ok. 25 cm) posiadają nośność odpowiednią dla ruchu lekkiego i średniego.
- ✦ Słaba nośność badanych nawierzchni wskazuje na konieczność weryfikacji konstrukcji nawierzchni dróg leśnych, szczególnie na etapie ich wykonywania.

## Literatura

- 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. 2001. Infrastruktura drogowa w warunkach trwale zrównoważonej gospodarki leśnej. Rocznik AR w Poznaniu. CCCXXXI. Leśnictwo 39: 57-64.
- 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: 117-129.
- Kamiński B. i in. 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: 39-45.
- 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: 47-59.
- Kamiński B., Czerniak A. 2003. Ocena stanu nawierzchni leśnej drogi tłuczniowej w Puszczy Noteckiej po dwuletnim okresie eksploatacji. Sylwan 6: 14-21.
- Kamiński E. red. 1977. Badania cech wytrzymałościowych nawierzchni drogowych i sposobów umacniania gruntów substancjami wiążącymi. Maszynopis. Biblioteka SGGW. Warszawa.
- Martin A. M. i in. 1999. Estimation of the serviceability of forest access roads. Journal of Forest Engineering 10 (2): 55-61.
- Mcfarlane H. W. i in. 1975. Experience with the Benkelman Beam on Canadian Forest Roads. Transportation Research Board 160: 210-217.
- O'Mahony M. J. i in. 2000. Bearing capacity of forest access roads built on peat soils. Journal of Terramechanics 37 (3): 127-138.
- Rolla S. 1985. Badanie materiałów i nawierzchni drogowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa.
- Sidorowicz J. i in. 1990. Katalog i wytyczne techniczne dla dróg leśnych wewnątrzzakładowych. Naczelny Zarząd Lasów Państwowych. Warszawa.
- Trzeciński G., Kaczmarzyk S. 2006. Ocena nośności gruntowych dróg leśnych. Sylwan 4: 65-72.

## SUMMARY

### Carrying capacity of slag and gravel forest road pavements

Roads with gravel pavement account for 4% and with slag pavement for 3,6% of all existing roads in the Polish National Forest. They follow predominant pavements with soil road structure (86,9%).



The objective of the study was to estimate the carrying capacity of forest road with slag and gravel pavements in forest road network of Forest Inspectorate. Deformation module  $M_E$  MPa, which was estimated by using VSS plate, is a parameter of carrying capacity of soil basement. As second parameter marking the ability of road basement to adopt loads, the value of elastic deflection –  $U_s$  mm, estimated using Benkelman deflectometr, was used.

Studies were carried out on 12 tested sections established on different forest road with changeable soil and habitat conditions. Seven tested sections with slag pavement, four tested sections with gravel pavement and one with slag-gravel pavement were selected. 38 measurements using VSS plate and 65 measurements using Benkelman deflectometr were made. The significance of difference of the deformation module and elastic deflection between groups was tested using ANOVA and "Multiple Range Tests" performed in Statgraphics® Plus for Windows software.

Three slag pavements with significant constructional difference had very similar values of deformation modules 98.59, 98.26 and 94.84 MPa. Taking maximum deformation modules  $M_E$  into consideration, slag ( $\dot{Z}2, \dot{Z}4, \dot{Z}5$ ), gravel ( $\dot{Z}w2$ ) and gravel-broken-stone ( $\dot{Z}wt$ ) pavements comply with requirements for low traffic intensity ( $M_E=100-130$  MPa). Two-ply gravel pavements (about 25 cm thick,  $\dot{Z}w1$ ) have mean carrying capacity complying with the requirements of low traffic intensity and slag pavements ( $\dot{Z}7$ ) have mean carrying capacity complying with the requirements of middle traffic intensity.

The studies obtained similar deformation modules  $M_E$  for different structures of pavement, confirmed the effect of many factors on carrying capacity of pavement. Properly performed slag and gravel pavements can be realized on road with low traffic intensity (one- ply pavements) and with middle traffic intensity (two- ply pavements).