

PARAMETRY TECHNICZNE NAWIERZCHNI DRÓG LEŚNYCH NA PRZYKŁADZIE NADLEŚNICTWA PRZEMKÓW RDLP WROCŁAW

Anna Krysztofiak-Kaniewska¹, Krzysztof Kania², Adrian Kasztelan¹✉

¹Katedra Inżynierii Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

²Nadleśnictwo Przemków, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych we Wrocławiu

ul. Ceglana 3, 59-170 Przemków

ABSTRAKT

Infrastruktura leśna wymaga rozwiązań zwiększających trwałość i nośność nawierzchni dróg, co ma kluczowe znaczenie dla ich efektywnego funkcjonowania w trudnych warunkach terenowych. Zastosowanie geosyntetyków, takich jak geowłókniny i geokraty, umożliwia efektywne wzmacnianie konstrukcji nawierzchni. Jest to szczególnie istotne w terenach leśnych charakteryzujących się trudnymi warunkami gruntowo-wodnymi. W artykule zanalizowano parametry techniczne nawierzchni czterech odcinków dróg leśnych zlokalizowanych na terenie Nadleśnictwa Przemków RDLP Wrocław. Trzy odcinki wykonano na podbudowie tłuczniowej, a jeden z zastosowaniem geowłókniny oraz geokraty wypełnionej żwirem. Stan techniczny oceniono na podstawie wizji terenowych oraz pomiarów nośności nawierzchni z wykorzystaniem lekkiej płyty dynamicznej. Konstrukcję dróg określono dzięki dokumentacji technicznej, a aktualne wartości dynamicznego modułu odkształcenia porównano z wynikami uzyskanymi podczas odbiorów robót. Stwierdzono, że zastosowanie geowłókniny i geokraty wypełnionej żwirem w warstwie podbudowy znacząco poprawia nośność nawierzchni dróg w warunkach leśnych. Otrzymane wyniki potwierdzają, że odpowiedni dobór technologii, w tym wykorzystanie geosyntetyków, przyczynia się do zwiększenia trwałości nawierzchni dróg leśnych, zapewniając ich większą efektywność użytkową i dłuższy okres eksploatacji.

Słowa kluczowe: nośność nawierzchni, lekka płyta dynamiczna, geosyntetyki, stan techniczny

WSTĘP

Drogi leśne podlegają ciągłym przemianom – zarówno w zakresie układu przestrzennego, jak i parametrów technicznych oraz konstrukcji nawierzchni (Trzeciński, 2011a). Dlatego decyzje dotyczące modernizacji bądź remontu, a co za tym idzie również wybór materiałów i konstrukcji nawierzchni, powinny uwzględniać nie tylko obciążenia wynikające z ruchu pojazdów, lecz także efektywność ekonomiczną, trwałość, przyszłe koszty utrzymania oraz powiązanie z krajobrazem.

W Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe warunki techniczne oraz wymagania dla dróg leśnych szczegółowo opisano w opracowaniach technicznych: „Drogi leśne – poradnik techniczny” (Dzikowski i in., 2006) oraz „Wytoczne prowadzenia robót drogowych w lasach” (Czerniak i in., 2013). Ponadto istotne znaczenie ma również Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 marca 2006 r. w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczania przeciwpożarowego lasów (Rozporządzeniu Ministra Środowiska..., 2006).

✉adrian.kasztelan@up.poznan.pl

Konstrukcje dróg leśnych są zróżnicowane i zależą od wielu czynników związanych z ich funkcją i warunkami eksploatacyjnymi. Do podstawowych czynników należą: rodzaj i wielkość obciążeń ruchem, rodzaj materiałów oraz sposób wykonania nawierzchni, cechy gruntowo-wodne podłoża, przewidywany okres eksploatacji nawierzchni, a także uwarunkowania techniczne i ekonomiczne realizacji (Dzikowski i in., 2006).

Na parametry techniczne dróg leśnych wpływają przede wszystkim cechy wynikające z natężenia ruchu, rodzaju pojazdów, zakładanej prędkości projektowej, a także czynniki środowiskowe, ekonomiczne i technologiczne (Trzeciński, 2011a). Właściwości te są ustalane dla danego nadleśnictwa lub obszaru transportowego na podstawie inwentaryzacji oraz planu docelowej sieci drogowej z uwzględnieniem warunków lokalnych (Grajewski i in., 2013).

Wybór odpowiedniej konstrukcji nawierzchni powinna poprzedzić analiza klasyfikacji drogi, przewidywanych obciążeń dostosowanych do aktualnych i przyszłych potrzeb, jak również możliwości technicznych i ekonomicznych jednostki organizacyjnej z uwzględnieniem dostępności materiałów lokalnych (Czerniak i in., 2021).

Istotny jest także aspekt środowiskowy – już na etapie projektowania drogi należy wziąć pod uwagę kwestie związane z ochroną lasu, siedlisk przyrodniczych, gleb i zasobów wodnych (Wisocka i in., 2015; Pieńkos, 1993).

Cel niniejszego opracowania polegał na porównaniu parametrów technicznych wybranych odcinków dróg leśnych zlokalizowanych na terenie Nadleśnictwa Przemków, ze szczególnym uwzględnieniem nośności nawierzchni wyrażonej dynamicznym modułem odkształcenia (E_{vd}). Dodatkowo podjęto próbę oceny wpływu zastosowania geosyntetyków na nośność nawierzchni w odniesieniu do konstrukcji tłuczniowych o budowie dwuwarstwowej.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Nadleśnictwo Przemków zlokalizowane jest w południowo-zachodniej Polsce, na terenie województw dolnośląskiego oraz lubuskiego i obejmuje powiaty m.in. bolesławiecki, polkowicki oraz żagański (Kowalczyk, 2014). Pod względem przyrodniczo-leśnym jednostka ta należy do Krainy Śląskiej (V), w obrębie

mezoregionów: Wzgórza Dalkowskie oraz Bory Dolnośląskie (Zielony i Kliczkowska, 2012).

Obszar ten charakteryzuje się dobrze rozwiniętą infrastrukturą drogową – przez teren nadleśnictwa przebiegają: droga krajowa nr 12 oraz drogi wojewódzkie nr 328 i 297, a także sieć dróg lokalnych (powiatowych i gminnych) o nawierzchniach asfaltowych, ulepszonych i gruntowych (rys. 1). Całkowita długość dróg leśnych wynosi ok. 720 km, co odpowiada gęstości 48,8 m/ha (Bank Danych o Lasach, 2024).

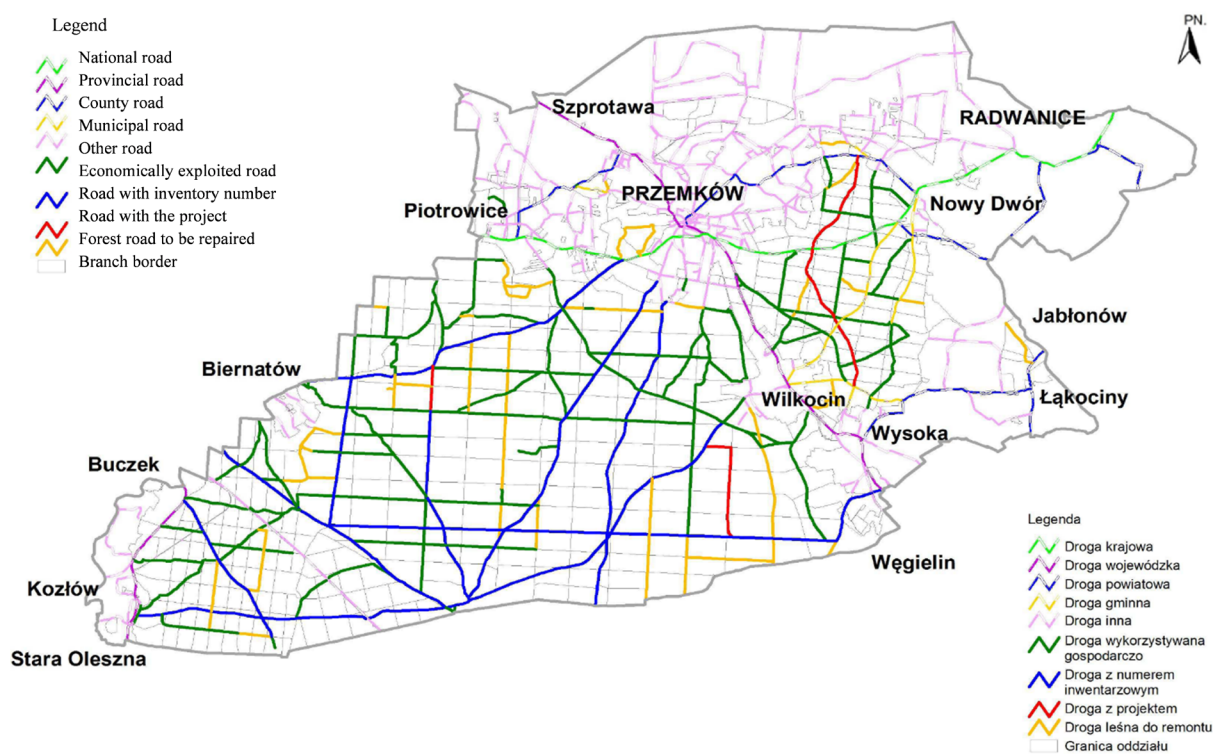
Plan urządzenia lasu na lata 2014–2023 zakłada pozyskanie łącznie ok. 509 tys. m³ grubizny brutto, przy średniorocznym pozyskaniu rzędu 51 tys. m³ (Bloch, 2014). Wskaźnik pozyskania wynosi 35 m³/ha, co przekłada się na roczny poziom 3,5 m³/ha. Zakładając, że średni ładunek wywozowy to 30 m³ drewna (Trzeciński, 2011b), można szacować ruch wywozowy na poziomie ok. 1,7 tys. ładunków rocznie.

MATERIAŁY I METODY

Do analiz wybrano odcinki dojazdów pożarowych nr 15 i 63 na terenie Nadleśnictwa Przemków, które zostały przebudowane lub wyremontowane w latach 2014–2017 (rys. 2). Oba ciągi komunikacyjne obsługują najbardziej obciążone ruchem obszary transportowe, w tym wywóz drewna z sąsiednich jednostek, m.in. Nadleśnictwa Chocianów. Jak podaje Bloch (2014), średnioroczny ruch wywozowy dla każdego z analizowanych dojazdów wynosi ok. 220 ładunków.

Badanym odcinkom nadano oznaczenia zawierające numer dojazdu oraz rok wykonania ostatnich robót drogowych. Zestawienie odcinków przedstawiono w tabeli 1, opracowanej na podstawie dokumentacji projektowych (Zoga, 2008; 2014; Gurlaga, 2007; Kosinkiewicz, 2000). Stan techniczny oceniono na podstawie przeglądu wizualnego oraz pomiarów terenowych.

Do oceny technicznej wytypowano odcinki, na których po zakończeniu robót budowlanych przeprowadzono badania nośności nawierzchni. Przeanalizowano dokumentację techniczną oraz wykonano pomiary dynamicznego modułu odkształcenia (E_{vd}) i wskaźnika s/v (stosunek głębokości osiadania płyty do jej prędkości). Przeprowadzono je za pomocą lekkiej płyty dynamicznej HMP LFG 4 z obciążnikiem 10 kg. Według Grajewskiego (2019) konfiguracja ta



Rys. 1. Mapa poglądowa Nadleśnictwa Przemków z przebiegiem szlaków komunikacyjnych (Bloch, 2014)

Fig. 1. Overview map of the Forest District Przemków with the course of communication routes (Bloch, 2014)

jest bardziej odpowiednia do pomiarów nośności nawierzchni twardych, nieulepszonych dróg leśnych niż zestaw z obciążnikiem 15 kg.

Uzyskane wyniki porównano z danymi zawartymi w dokumentacji powykonawczej, w której zastosowano badania płytą statyczną VSS. Dodatkowo przeprowadzono pomiary spadków poprzecznych i podłużnych z wykorzystaniem łaty niwelacyjnej i taśmy geodezyjnej. Wszystkie badania terenowe wykonano w temperaturze powyżej 5°C.

Do porównania wyników zastosowano przeliczenie wartości z badań VSS na podstawie korelacji między modułami E_2 i E_{vd} , zaproponowanej przez Szpirowskiego i in. (2005):

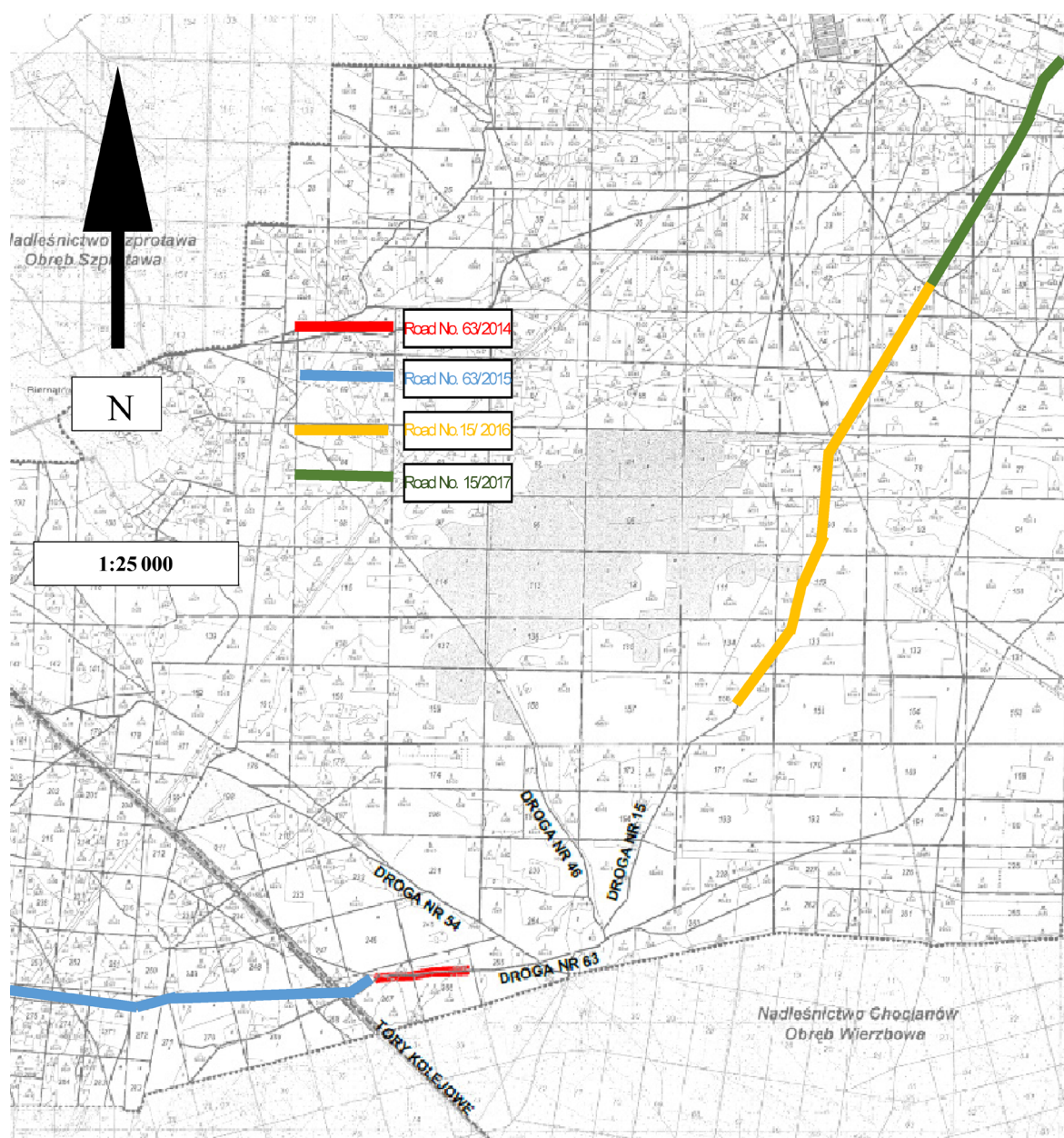
$$E_2 = 2,1 \cdot E_{vd} + 71,86 \text{ [MPa]}$$

Dla zapewnienia wiarygodności każde miejsce badawcze poddano trzem pomiarom w koleinie, z zachowaniem odstępu 1 metra między punktami. Pomiar prowadzono w kilometrażu zgodnym z lokalizacją wcześniejszych badań wykonanych metodą VSS.

CHARAKTERYSTYKA STANU NAWIERZCHNI BADANYCH ODCINKÓW

Odcinek 63/2014 charakteryzuje się nawierzchnią z kruszywa łamanego bazaltowego, właściwie zaklinowaną i zamięłowaną. Występują ubytki punktowe, zgrupowane, ale nieprzekraczające powierzchni 1 m², zazwyczaj w miejscach przełamania łuków pionowych. Spadki poprzeczne i podłużne zachowane są na większości długości odcinka, choć lokalnie obserwuje się koleinowanie, zwłaszcza w miejscach o dużych spadkach podłużnych. W koleinach gromadzi się woda opadowa, co przyczynia się do wymywania drobniejszych frakcji kruszywa i ich wtórnego osiadania. Pobocza wykonano z tego samego materiału, jednak ich powierzchnia jest znacznie zarośnięta roślinnością. Rów przydrożny utracił swój trapezowy przekrój na skutek erozji i obecnie posiada przekrój zbliżony do kołowego, bez wyraźnych uszkodzeń technicznych (rys. 3).

Odcinek 63/2015 również ma nawierzchnię z kruszywa łamanego bazaltowego. Obserwowane są



Rys. 2. Mapa przeglądowa Nadleśnictwa Przemków z lokalizacją odcinków badawczych

Fig. 2. General map of the Forest District Przemków showing the location of the tested road sections

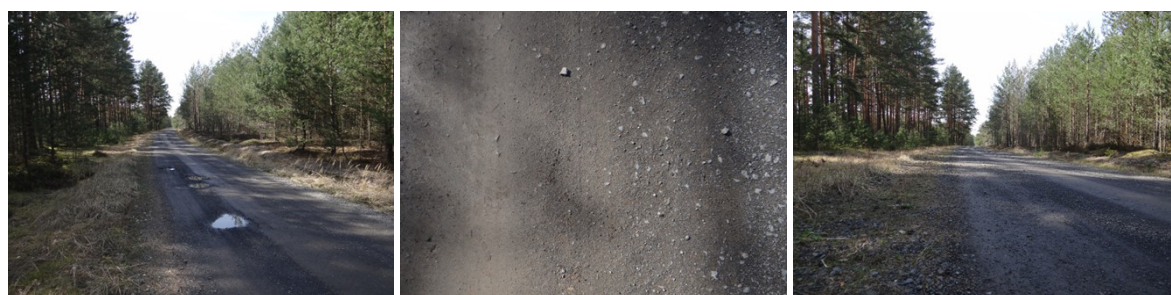
pojedyncze ubytki o powierzchni do 1 m², występujące głównie w rejonie przełamów łuków pionowych. Nawierzchnia zachowuje odpowiednie spadki, choć widoczne jest koleinowanie spowodowane przemieszczeniem materiału z pasa ruchu do osi jezdni i poboczy. Pobocza wykonano z tego samego kruszywa,

brak wyraźnych uszkodzeń. Rów przydrożny uległ deformacji – pierwotny przekrój trapezowy został zastąpiony przekrojem kołowym. Dodatkowo w miejscach intensywnego spływu powierzchniowego odnotowano miejscowe osunięcia gruntu na przeciwsłonecznej stronie lasu (rys. 4).

Tabela 1. Zestawienie badanych odcinków dróg (opracowanie własne na podstawie Zogi, 2008, 2014; Gurlagi, 2007; Kosinkiewicz, 2000)

Table 1. List of tested road sections (own study based on Zoga, 2008, 2014; Gurlaga, 2007; Kosinkiewicz, 2000)

Nazwa drogi Road name	Nr odcinka Section number	Konstrukcja nawierzchni Paving construction	Warunki gruntowo-wodne Soil and water conditions	Rok przebudowy / remontu Year rebuilding / repair	Długość dcinka Length of the section m	Stan techniczny Condition
Dojazd pożarowy nr 63 Fire access No. 63	63/2014	kruszywo łamane 0/31,5 (10 cm) niesort kamienny 0/63 (20 cm) podłoże naturalne	piasek średni, średnio zagęszczony warunki przeciętne	2007/2014	1225	średni
	63/2015	kruszywo łamane 0/31,5 (10 cm) niesort kamienny 0/63 (20 cm) podłoże naturalne	piasek średni, średnio zagęszczony warunki dobre	2007/2015	2175	dobry
Dojazd pożarowy nr 15 Fire access No. 15	15/2016	kruszywo łamane 0/31,5 (10 cm) niesort kamienny 0/63 (20 cm) podłoże naturalne	piasek średni ze żwirem, średnio zagęszczony, warunki dobre	2008/2016	3930	średni
	15/2017	kruszywo łamane 0/31,5 (10 cm) geokrata z wypełnieniem żwirowym (10 cm) geowłóknina podłoże naturalne	piasek średni ze żwirem, średnio zagęszczony, warunki przeciętne	2007/2017	1900	dobry



Rys. 3. Dojazd pożarowy nr 63 – odcinek badawczy nr 63/2014

Fig. 3. Fire access no. 63 – research section no. 63/2014



Rys. 4. Dojazd pożarowy nr 63 – odcinek badawczy nr 63/2015

Fig. 4. Fire access no. 63 – research section no. 63/2015



Rys. 5. Dojazd pożarowy nr 15 – odcinek badawczy nr 15/2016

Fig. 5. Fire access no. 15 – research section no. 15/2016



Rys. 6. Dojazd pożarowy nr 15 – odcinek badawczy nr 15/2017

Fig. 6. Fire access no. 15 – research section no. 15/2017

Odcinek 15/2016 charakteryzuje się nawierzchnią z kruszywa łamanego bazaltowego. W ciągu badanego odcinka występują pojedyncze ubytki o powierzchni do 1 m², zlokalizowane głównie w miejscach przełamów łuków pionowych. Nawierzchnia zachowuje prawidłowe spadki poprzeczne i podłużne. W przekroju poprzecznym zaobserwowano koleinowanie spowodowane przemieszczeniem warstwy ścierniczej oraz materiału kamiennego z pasa ruchu do osi jezdni i w kierunku poboczy. Dodatkowe zniszczenia mogą być związane ze spływem powierzchniowym w rejonach o większych spadkach podłużnych. Pobocze wykonano z tego samego kruszywa bazaltowego. Brak istotnych uszkodzeń nawierzchni i odwodnienia. Spadki boczne umożliwiają właściwy spływ wód opadowych w kierunku rowu, który zachował swój trapezowy przekrój i nie wykazuje oznak deformacji (rys. 5).

Odcinek 15/2017 również cechuje nawierzchnia z kruszywa łamanego bazaltowego. Widoczne są pojedyncze ubytki punktowe do 1 m², najczęściej w miejscach przełamów łuków pionowych. Spadki

poprzeczne i podłużne zostały zachowane, co sprzyja odprowadzeniu powierzchniowemu. Koleinowanie widoczne w przekroju poprzecznym wynika z przemieszczenia drobnych frakcji w kierunku osi drogi i poboczy. Pobocze wykonano z tego samego materiału. Brak większych uszkodzeń konstrukcyjnych, a rów przydrożny zachował swój pierwotny kształt trapezowy i funkcjonalność odwadniającą (rys. 6).

WYNIKI I ICH ANALIZA

Poniżej przedstawiono wyniki pomiarów zawierające: średni dynamiczny moduł odkształcenia E_{vd} , średni stopień zagęszczenia s/v oraz średnie odkształcenie osiadania s , zarejestrowane dla wybranych stanowisk pomiarowych na analizowanych odcinkach dróg (tab. 2).

W tabeli 3 porównano średnie wartości dynamicznego modułu odkształcenia (E_{vd}), natomiast na rysunku 7 średni stopień zagęszczenia s/v (ms) i średnie odkształcenie osiadania s (mm) uzyskane na odcinkach badawczych z wynikami pomiarów powykonawczych.

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów lekką płytą dynamiczną na odcinkach badawczych
Table 2. Summary of measurement results with a light dynamic plate on research sections

Odcinek 63/2014 – Section 63/2014				
1	2	3	4	5
L.p. No.	Lokalizacja pomiaru Distance from starting point m	Średni dynamiczny moduł odkształcenia wyniki po remoncie (Szymański, 2014) / wyniki z grudnia 2018 Medium dynamic strain modulus results after renovation (Szymański, 2014) / results from December 2018 E_{vd} / MPa	Średni stopień zagęszczenia Medium compaction s/v	Średnie odkształcenie osiadania Medium deformation of subsidence s, mm
1	1+50	54,2 / 55,97	2,5	0,402
2	2+80	59,4 / 77,59	3,0	0,290
3	6+20	60,4 / 52,38	2,9	0,430
4	7+40	61,5 / 48,70	3,2	0,462
Odcinek 63/2015 – Section 63/2015				
L.p. No.	Lokalizacja pomiaru Distance from starting point m	Średni dynamiczny moduł odkształcenia wyniki po remoncie (Szymański, 2015) / wyniki z grudnia 2018 Medium dynamic strain modulus results after renovation (Szymański, 2015) / results from December 2018 E_{vd} / MPa	Średni stopień zagęszczenia Medium compaction s/v	Średnie odkształcenie osiadania Medium deformation of subsidence s, mm
1	3+00	49,5 / 50,45	2,7	0,446
2	11+00	54,9 / 73,77	3,4	0,305
3	20+00	59,9 / 49,65	2,9	0,454
4	32+00	57,5 / 74,75	2,9	0,301
5	38+00	54,9 / 61,98	2,4	0,363
6	43+00	56,1 / 67,77	2,9	0,332
7	51+00	54,0 / 65,03	2,6	0,364
8	60+00	55,2 / 55,97	2,5	0,402
Odcinek 15/2016 – Section 15/2016				
L.p. No.	Lokalizacja pomiaru Distance from starting point m	Średni dynamiczny moduł odkształcenia wyniki po remoncie (Szymański, 2016) / wyniki z grudnia 2018 Medium dynamic strain modulus results after renovation (Szymański, 2016) / results from December 2018 E_{vd} / MPa	Średni stopień zagęszczenia Medium compaction s/v	Średnie odkształcenie osiadania Medium deformation of subsidence s, mm
1	28+40	48,4 / 81,23	3,1	0,277
2	33+50	53,2 / 87,21	2,6	0,258
3	36+50	48,4 / 83,62	2,6	0,269

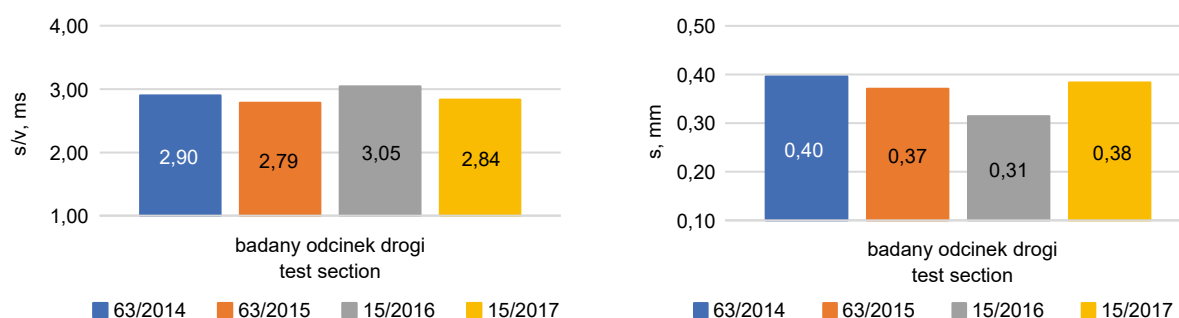
Table 2 – cont.

1	2	3	4	5
4	38+20	36,4 / 59,30	2,6	0,378
5	42+20	34,9 / 82,12	3,0	0,274
6	49+30	34,4 / 62,67	2,7	0,359
7	54+30	33,5 / 68,81	3,1	0,327
8	59+30	37,3 / 86,54	3,4	0,260
9	64+20	38,2 / 76,53	3,4	0,294
10	67+60	55,9 / 69,23	3,5	0,325
11	69+10	55,9 / 51,49	3,5	0,435
Odcinek 15/2017 – Section 15/2017				
L.p. No.	Lokalizacja pomiaru Distance from starting point m	Średni dynamiczny moduł odkształcenia wyniki po remoncie (Szymański, 2017) / wyniki z grudnia 2018 Medium dynamic strain modulus results after renovation (Szymański, 2017) / results from December 2018 E_{vd} / MPa	Średni stopień zagęszczenia Medium compaction s/v	Średnie odkształcenie osiadania Medium deformation of subsidence s, mm
1	6+40	58,3 / 63,74	2,6	0,353
2	8+20	59,3 / 48,39	2,9	0,465
2	10+30	58,1 / 63,92	2,7	0,352
4	12+40	57,6 / 63,91	2,8	0,352
5	14+30	56,9 / 82,42	3,5	0,273
6	16+50	60,1 / 64,84	3,0	0,347
7	18+40	60,8 / 42,21	2,6	0,533
8	20+40	63,2 / 49,34	2,7	0,456
9	22+30	62,1 / 57,40	3,1	0,392
10	24+10	64,2 / 53,83	2,6	0,418
11	26+20	59,9 / 81,23	2,7	0,277

Wyniki badań wykazały, że wszystkie analizowane odcinki dojazdów pożarowych zostały odpowiednio dogęszczone, o czym świadczy średni stopień zagęszczenia s/v mniejszy niż 3,5 ms (Instrukcja..., 2014). Wartości tego parametru zawierały się w przedziale 2,79–3,05, co potwierdza właściwe parametry eksploatacyjne nawierzchni.

Analizując średnie wartości dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} , zauważono, że odcinki 15/2017

(po roku eksploatacji) i 63/2014 (po czterech latach eksploatacji) utrzymały parametr nośności na niemal niezmiennym poziomie. Dla odcinka 63/2014 wartość E_{vd} zmniejszyła się zaledwie o 0,23 MPa, natomiast dla odcinka 15/2017 nastąpił niewielki wzrost – o 0,97 MPa. Mimo zbliżonego okresu użytkowania i natężenia ruchu, konstrukcje obu odcinków znacznie się różnią. Odcinek 63/2014 wykonano z kruszywa bazaltowego o łącznej grubości podbudowy ok. 30 cm,



Rys. 7. Średni stopień zagęszczenia s/v (ms) i średnie odkształcenie osiadania s (mm) dla poszczególnych odcinków badawczych

Fig. 7. Average degree of compaction s/v (ms) and average settlement deformation s (mm) for individual test sections

Tabela 3. Zestawienie średniego dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} (MPa) na odcinkach badawczych

Table 3. Compilation of the mean dynamic deformation modulus E_{vd} (MPa) on test sections

Odcinek badawczy Test section	E_{vd} , MPa		Różnica Difference
	Wartość powykonawcza As-built value	Wartość zmierzona Measured value	
63/2014	58,89	58,66	☐ 0,23
63/2015	55,26	62,42	☑ 7,16
15/2016	43,30	73,52	☑ 30,22
15/2017	60,05	61,02	☑ 0,97

natomiast 15/2017 – z zastosowaniem geokraty wypełnionej żwirem, ułożonej na geowłókninie i warstwy kruszywa o łącznej grubości ok. 20 cm.

Pozwala to stwierdzić, że w przypadku analizowanych dróg leśnych wykorzystanie geosyntetyków umożliwia zmniejszenie grubości podbudowy nawet o 1/3 w porównaniu do rozwiązań tradycyjnych, przy zachowaniu porównywalnych parametrów nośności. Należy jednak zaznaczyć, że do porównania wykorzystano przeliczenia E_{vd} z wartości E_2 , zgodnie z korelacją zaproponowaną przez Szpikowskiego i in. (2005), opracowaną dla kruszyw łamanych o uziarnieniu 0/31,5 mm.

Wartości E_{vd} na odcinkach 15/2017 i 63/2014 utrzymywały się na zbliżonym poziomie (~60 MPa), mimo różnic w konstrukcji i grubości warstw podbudowy. Świadczy to o skuteczności technologii z użyciem

geowłóknin i geokrat wypełnionych żwirem, które – jak wynika z analizy – mogą podnieść nośność nawierzchni pomimo „odchudzonej” konstrukcji.

Na odcinkach 63/2015 i 15/2016 zaobserwowano wyraźny wzrost E_{vd} względem wartości powykonawczych – odpowiednio o 7,16 MPa i 30,22 MPa. Wzrost ten może wynikać z procesu naturalnej stabilizacji korpusu drogi, który został częściowo naruszony podczas robót remontowych. Zgodnie z literaturą (Gołąb, 2010), ustabilizowanie gruntów w konstrukcji drogi następuje zazwyczaj po kilku latach eksploatacji, a zmiany w parametrach technicznych są w dużej mierze zależne od sprawności odwodnienia oraz charakteru obciążeń dynamicznych.

Niższe parametry nośności odnotowane na odcinkach 15/2017 i 63/2014 mogą być również wynikiem mniej korzystnych warunków gruntowo-wodnych. Przeciętne warunki podłoża występujące na tych odcinkach, w porównaniu do warunków dobrych stwierdzonych na odcinkach 15/2016 i 63/2015, przełożyły się na różnice w wynikach E_{vd} .

DYSKUSJA

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły, że decydujący wpływ na nośność nawierzchni dróg leśnych ma rodzaj konstrukcji i materiały oraz technologie wykorzystane do jej budowy. Kolejnym ważnym aspektem jest jakość podłoża gruntowego. Zależność między nią a nośnością konstrukcji nawierzchni była wcześniej opisana przez wielu autorów, w tym m.in. Kamińskiego i Czerniaka (2001). W swoich badaniach

wykazali oni wyraźny wpływ rodzaju gruntu podłoża na wartość statycznego modułu odkształcenia, wskazując, że różnice pomiędzy podłożem o właściwościach bardzo dobrych (np. żwiry, dobrze zagęszczone piaski) a podłożem słabym (np. grunty organiczne, nawodnione gliny) mogą sięgać nawet 300%.

Na podstawie wyników uzyskanych w niniejszej pracy zauważono również, że odcinki badawcze użytkowane przez ok. 10 lat wykazywały mniejsze różnice w wartościach dynamicznych modułów odkształcenia w porównaniu do odcinków o krótszym okresie eksploatacji. Może to świadczyć o stabilizacji konstrukcji nawierzchniowej wynikającej z jej długoletniego użytkowania. Podobne wnioski przedstawił Trzciniński (2011a), który w swoich doświadczeniach wykazał, że wtórne zagęszczenie warstw konstrukcyjnych następuje w wyniku wielokrotnego oddziaływania kół pojazdów, co prowadzi do poprawy parametrów nośności w trakcie eksploatacji drogi.

Badania potwierdziły również skuteczność zastosowania geosyntetyków – geowłókniny i geokraty – w warunkach leśnych jako elementów konstrukcyjnych podnoszących nośność nawierzchni drogowych. Efektywność takich rozwiązań wykazali m.in. Grajewski i in. (2015).

Z kolei Kamiński (2007) wykazał, że wzmocnienie konstrukcji tłuczniowych za pomocą geowłókniny może podnieść parametr nośności nawet o 20–30%. Podobne rezultaty uzyskali Kamiński i Czerniak (2003), wskazując, że zastosowanie geowłókniny na podłożu z piasku pylistego pozwoliło zwiększyć wartość statycznego modułu odkształcenia o ok. 30%.

Konieczność wdrażania nowoczesnych rozwiązań technologicznych w drogownictwie leśnym, w tym geosyntetyków poprawiających parametry konstrukcyjne nawierzchni, została także podkreślona w opracowaniach Trzcinińskiego (2011a).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Przeprowadzone analizy i pomiary potwierdziły zasadność przyjętej metodyki badawczej (użycia lekkiej płyty dynamicznej) oraz wykazały wpływ wybranych czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na uzyskiwane wartości parametrów technicznych nawierzchni.

2. Zastosowanie geosyntetyków w konstrukcji dróg leśnych zwiększa zdolność nawierzchni do przenoszenia obciążeń dynamicznych, wpływając korzystnie na trwałość układu warstw konstrukcyjnych.
3. Wykorzystanie geowłókniny i geokraty wypełnionej żwirem w konstrukcji podbudowy pozwala nie tylko zwiększyć nośność nawierzchni tłuczniowych, ale także zmniejszyć całkowitą grubość podbudowy w porównaniu do warstwy wykonanej wyłącznie z kruszywa bazaltowego. Wskazuje to na wysoką efektywność tego typu rozwiązań technologicznych.
4. Zastosowanie nadmiernie grubych i równoziarnistych materiałów zamykających prowadzi do niewłaściwego klinowania warstw konstrukcyjnych, co skutkuje przemieszczaniem.
5. Wskazane jest przeprowadzenie dodatkowych pomiarów dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} oraz badań przy użyciu płyty statycznej VSS, w celu pełniejszego opisu zachodzących zmian w parametrach nośności konstrukcji drogowych.

PIŚMIENNICTWO

- Bank Danych o Lasach (2024). Pobrane z: www.bdl.lasy.gov.pl/portal.bank.
- Bloch, Ł. (2014). Ekspertyza optymalizacji i rozwoju infrastruktury drogowej dla Nadleśnictwa Przemków [Expertise in the optimization and development of road infrastructure for the Przemków Forest District]. Brzeg: Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej o/Brzegu [in Polish].
- Czerniak, A. (red.) (2013). Wytyczne prowadzenia robót drogowych w lasach [Guidelines for conducting road works in forests]. Nowy Bedoń: Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu [in Polish].
- Czerniak, A., Grajewski, S. M., Kurowska, E. E. (2021). Bearing capacity standards for forest roads constructed using various technologies from mechanically and chemically stabilised aggregate. *Croat. J. Forest Eng.*, 42(3). <http://dx.doi.org/10.5552/crojfe.2021.996>
- Dzikowski, J., Szarłowicz, A., Burzyński, S., Rajsman, M., Satoła, J., Wiązkowski, Z. (2006). Drogi leśne – poradnik techniczny [Forest roads – technical guide]. Warszawa-Bedoń: DGLP [in Polish].
- Gołąb, J. (2010). Odształcenia pasa drogowego leśnych dróg stokowych w Bieszczadach [Deformations of the road strip of forest slope roads in the Bieszczady]

- Mountains]. *Infrastrukt. Ekol. Ter. Wiej.*, PAN, 14, 125–136.
- Grajewski, S. (2019). Funkcjonalność leśnych dojazdów pożarowych względem wymogów współczesnych pojazdów ratowniczo-gaśniczych oraz aktualnie stosowanych taktyk i technologii gaszenia pożarów lasów [Functionality of forest fire access in relation to the requirements of modern rescue and firefighting vehicles and currently used forest fire fighting tactics and technologies]. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu [in Polish].
- Grajewski, S., Czerniak, A., Kasztelan, A., Kayzer, D., Szóstakowski, P. (2015). Zastosowanie geotkaniny do zwiększenia nośności dróg leśnych na terenach bagiennych [The use of geotextiles to increase the bearing capacity of forest roads in swampy areas], *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.*, 14(4), 301–311 [in Polish].
- Grajewski, S., Kamiński, B., Miler, A. T., Okoński, B., Leciejewski, P., ..., Wojtkowski, K. (2013). Wytyczne prowadzenia robót drogowych w lasach [Guidelines for road works in forests]. Warszawa–Bedoń: PGL LP, OR-W LP w Bedoniu [in Polish].
- Gurlaga, P. (2007) Remont drogi pożarowej nr 63 w leśnictwie Kozłów i drogi łącznikowej do drogi pożarowej nr 44 [Renovation of fire road No. 63 in the Kozłów Forestry and connecting road to fire road No. 44]. *Maszynopis* [in Polish].
- Instrukcja obsługi lekkiego ugięciomierza dynamicznego ZFG 3000 (2014). *Maszynopis*. Poznań: Merazet.
- Kamiński, B. (2007). Ocena przydatności geosyntetyków stosowanych w budownictwie dróg leśnych [Assessment of the usefulness of geosynthetics used in the construction of forest roads]. *Zarz. Ochr. Przyr. Las.*, 1, 173–177 [in Polish].
- Kamiński, B., Czerniak, A. (2001). Wpływ podłoża gruntowego na nośność nawierzchni tłuczniowych [Influence of the subsoil on the load-bearing capacity of crushed gravel surfaces]. Poznań. *Towarz. Przyj. Nauk, Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn.*, 90, 47–59.
- Kamiński, B., Czerniak, A. (2003). Ocena stanu nawierzchni leśnej drogi tłuczniowej w Puszczy Noteckiej po dwuletnim okresie eksploatacji [Assessment of the condition of the surface of a crushed stone road in the Notecka Forest after a two-year period of exploitation]. *Sylvan*, 6, 14–21 [in Polish].
- Kosinkiewicz, Z. (2000). Droga leśna nr 15 [Forest road nr 15]. *Maszynopis*. Wrocław: EkoInwest sp. z o.o., Przedsiębiorstwo Inwestycji Ekologicznych [in Polish].
- Kowalczyk, B. (2014). Plan urządzania lasu dla Nadleśnictwa Przemków na okres od 1 stycznia 2014 r. do 31 grudnia 2023 r. [Forest management plan for the Przemków Forest District for the period from 1 January 2014 to 31 December 2023]. *Maszynopis*. Brzeg: Biuro Urządzania i Geodezji Leśnej [in Polish].
- Pieńkos, K. (1993). Potrzeby badawcze w zakresie inżynierskiego zagospodarowania lasu. *Sylvan*, 137(10), 91–96.
- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 22 marca 2006 r. w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczania przeciwpożarowego lasów [Regulation of the Minister of the Environment of 22 March 2006 on the detailed rules of forest fire protection]. *Dz. U.* 2006 r., Nr 58, poz. 405 [in Polish].
- Szpikowski, M., Dreger, M., Przygoda, M. (2005). Badanie i ustalenie zależności korelacyjnych dla oceny stany zagęszczenia i nośności gruntów niespoistych płytą dynamiczną [Investigation and determination of correlation relationships for the assessment of the states of compaction and bearing capacity of non-cohesive soils with a dynamic plate]. Warszawa: Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Instytut Geotechniki [in Polish].
- Szymański, J. (2014) Opinia technologiczna dotycząca nawierzchni dojazdu pożarowego nr 63 [Technological opinion of the fire access road surface No. 63]. *Maszynopis*. Drzonków: PW Monolit Laboratorium Drogowe [in Polish].
- Szymański, J. (2015). Opinia technologiczna nawierzchni dojazdu pożarowego nr 63 [Technological opinion of the fire access road surface No. 63]. *Maszynopis*. Drzonków: PW Monolit Laboratorium Drogowe [in Polish].
- Szymański, J. (2016). Opinia technologiczna nawierzchni dojazdu pożarowego nr 15 [Technological opinion of the fire access road surface No. 15]. *Maszynopis*. Drzonków: PW Monolit Laboratorium Drogowe [in Polish].
- Szymański, J. (2017). Opinia technologiczna nawierzchni dojazdu pożarowego nr 15 [Technological opinion of the fire access road surface No. 63]. *Maszynopis*. Drzonków: PW Monolit Laboratorium Drogowe [in Polish].
- Trzeciński, G. (2011a). Analiza parametrów technicznych dróg leśnych w aspekcie wywozu drewna samochodami wysokotonażowymi [Analysis of technical parameters of forest roads in the aspect of timber transport with high-tonnage trucks]. Warszawa: Wydawnictwo SGGW [in Polish].
- Trzeciński, G. (2011b). Wywóz drewna wielkowymiarowego a obciążenie dróg leśnych [Export of large-size timber and the burden on forest roads]. *Probl. Inż. Roln.*, 1, 185–193 [in Polish].
- Wisocka, M., Kasztelan, A., Grajewski, S., Kamiński, B. (2015). Analiza inwestycji drogowych prowadzonych na terenach lasów zarządzanych przez Państwowe

- Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe w roku 2012 [Analysis of road investments carried out in the areas of forests managed by the State Forests National Forest Holding in 2012]. *Zarz. Ochr. Przyr. Las.*, 9, 49–60 [in Polish].
- Zielony, R., Kliczkowska, A. (2012). Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010 [Natural and forest regionalization of Poland 2010]. Warszawa: Centrum Informacyjne Lasów Państwowych [in Polish].
- Zoga, A. (2008). Przebudowa drogi pożarowej nr 15 na terenie Nadleśnictwa Przemków [Reconstruction of fire road No. 15 in the area of the Przemków Forest District]. Maszynopis. Wrocław: Adam Zoga Usługi Projektowe [in Polish].
- Zoga, A. (2014). Remont fragmentu dojazdu pożarowego nr 63 na terenie Nadleśnictwa Przemków [Renovation of a fragment of fire access No. 63 in the area of the Przemków Forest District]. Maszynopis. Wrocław: Adam Zoga Usługi Projektowe [in Polish].

TECHNICAL PARAMETERS OF FOREST ROAD PAVEMENTS: A CASE STUDY OF THE PRZEMKÓW FOREST DISTRICT, REGIONAL DIRECTORATE OF STATE FORESTS IN WROCŁAW

ABSTRACT

Forest infrastructure requires solutions that improve road pavement durability and load-bearing capacity. These are critical for the effective functioning of forest roads under difficult terrain conditions. Geosynthetics, such as geotextiles and geocells, enables efficient reinforcement of pavement structures, which is particularly important in forest areas with challenging soil and water conditions. The article analyses technical parameters of pavement structures in four sections of forest roads located within the Przemków Forest District (Regional Directorate of State Forests in Wrocław). Three sections were constructed with a crushed stone subbase, while one incorporated geotextile and a geocell filled with gravel. The technical condition was assessed by conducting field inspections and measuring the load-bearing capacity with a lightweight deflectometer. The road structures were identified using technical documentation and the current values of the dynamic deformation modulus were compared with the results recorded during construction acceptance tests. At the same time, it was observed that the application of geotextiles and gravel-filled geocells in the subbase layer significantly enhances the load-bearing capacity of forest road pavements. The findings confirm that an appropriate selection of technologies, including geosynthetics, contributes to increased durability of forest road pavements, ensuring greater operational efficiency and longer service life.

Keywords: pavement bearing capacity, lightweight deflectometer, geosynthetics, technical condition