



ROBERT JURCZAK

Robert.Jurczak@zut.edu.pl



STANISŁAW MAJER

majer@zut.edu.pl



BARTOSZ BUDZIŃSKI

bbudzinski@zut.edu.pl

Zachodniopomorski
Uniwersytet
Technologiczny
w Szczecinie

Projektowanie i ocena nośności dolnych warstw konstrukcji i ulepszonego podłoża

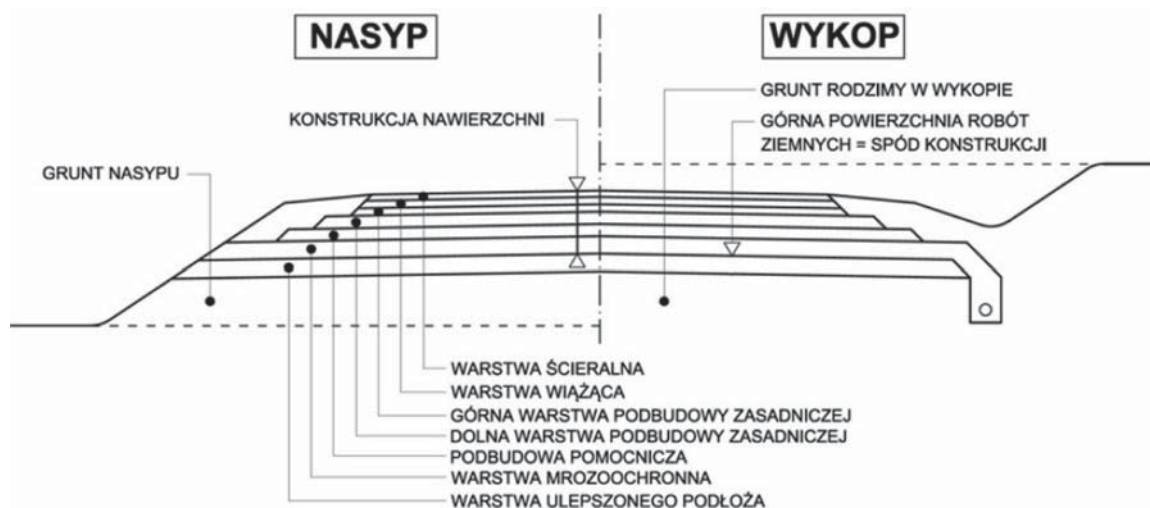
Projektowanie konstrukcji nawierzchni to etap istotny w przypadku trwałości drogi, jako obiektu budowlanego. Nośność nawierzchni można zdefiniować jako możliwość przejazdu pewnej ustalonej liczby pojazdów w zakładanym czasie eksploatacji bez wystąpienia nadmiernych uszkodzeń. W celach praktycznych, przy obliczeniach inżynierskich do określenia wymaganej nośności przyjmuje się oś standardową 100 kN konstrukcje podatne i sztywne oraz 115 kN nawierzchnie sztywne. Przy projektowaniu nawierzchni istotną jest wiedza na temat przewidywanego ruchu pojazdów ciężarowych (prognoza ruchu). Dzięki prognozie, projektant jest w stanie określić grubość warstw konstrukcyjnych odpowiednich dla przyjętego ruchu. Na etapie projektu należy również brać pod uwagę inne czynniki, przede wszystkim warunki gruntowo-wodne oraz klimatyczne. Czynniki te oraz prognozowany ruch determinują układ i grubość dolnych warstw konstrukcji i ulepszonego podłoża. Ogólny schemat konstrukcji układu warstw w nasypie i wykopie przedstawiono na rys. 1, a przykładowe

rozwiązania dolnych warstw konstrukcji dla kategorii ruchu KR5-7 z Katalogu TKNPIP przedstawiono na rys. 2 [1].

Przy obliczaniu typowych konstrukcji do Katalogu, przyjęto pewne uśrednione wartości parametrów uwzględnianych w obliczeniach mechanicznych. W zawiązku z tym konstrukcje katalogowe charakteryzują się pewnym zapasem nośności. Niestety, takie podejście jest nie do przyjęcia w formule „projektuj i buduj”, gdy dopuszczono możliwość indywidualnego projektowania konstrukcji nawierzchni. Prowadzi to do możliwie maksymalnego ograniczenia kosztów po stronie wykonawcy, tym samym „optymalizacji” konstrukcji nawierzchni. Wiąże się to z reguły ze zmniejszaniem grubości górnych warstw konstrukcji nawierzchni w stosunku do rozwiązań katalogowych. Kolejnym czynnikiem powodującym niechęć do rozwiązań katalogowych są przedstawione rozwiązania dolnych warstw konstrukcji i ulepszonego podłoża. Rozwiązania znacząco różnią się od stosowanych do tej pory. Zaproponowane warstwy konstrukcyjne wiążą się z dużą materiałochłonnością i znacznym nakładem transportowym. To powoduje, że przy nadarżającej się okazji wykonawcy próbują zmieniać układ dolnych warstw konstrukcji nawierzchni.

Rozwiązania dolnych warstw konstrukcji i ulepszonego podłoża

W Katalogu przedstawiono kilka rozwiązań dolnych warstw konstrukcji i ulepszonego podłoża grupując je: KR1-KR2, KR3-KR4 oraz KR5-KR7. Rozwiązania przewidziane dla kategorii ruchu KR5-KR7 przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1 Przekrój poprzeczny i nazwy warstw konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych oraz warstwy ulepszonego podłoża [1]

Mimo że zaproponowano wiele metod doprowadzenia do odpowiedniej nośności, to katalogowy układ dolnych warstw nawierzchni i ulepszonego podłoża (nawet 3 warstwy) ogranicza w praktyce możliwość stosowania przez wykonawców metody mieszania na miejscu, tj. stabilizacji „in situ” w grubych warstwach. Obecnie, dzięki wykorzystaniu specjalistycznych maszyn do mieszania gruntu, istnieje możliwość wykonania ulepszenia do głębokości ponad 0,5 m [2]. Należy również zwrócić uwagę, że sposoby doprowadzenia do odpowiedniej nośności różnią się znacznie w stosunku do rozwiązań ujętych w Katalogu z 1997 r. [3]. Wieloletnie doświadczenia autorów ze stosowaniem rozwiązań wzmocnienia podłoża metodą na miejscu (stabilizacja gruntów 15–30 cm) wskazują, że sprawdzały się one w praktyce. Sposób doprowadzenia podłoża do odpowiednich parametrów według Katalogu z 1997 r. polegał na wykonaniu:

- na podłożu o grupie nośności G2:
 - warstwy z gruntów stabilizowanych spoiwem $R_m=1,5$ MPa o grubości 10 cm
- na podłożu o grupie nośności G3:
 - warstwy z gruntów stabilizowanych spoiwem $R_m=2,5$ MPa o grubości 15 cm
- na podłożu o grupie nośności G4:
 - warstwy z gruntów stabilizowanych spoiwem $R_m=2,5$ MPa o grubości 25 cm lub
 - dwóch warstw o grubości 15 cm (każda) z gruntów stabilizowanych spoiwem, przy czym górna o $R_m=2,5$ MPa, a dolna o $R_m=1,5$ MPa.

Ulepszanie gruntów metodą na miejscu ma dużą przewagę nad pozostałymi metodami, wymaga jednak przestrzegania reżimów technologicznych w celu uzyskania odpowiedniej jednorodności. Nie ma potrzeby transportu materiału o określonych parametrach na plac budowy. Wiąże się to z kosztami, szczególnie w sytuacji, gdy takich materiałów brakuje na danym terenie. Nie bez znaczenia

jest również krótszy czas wykonania warstwy z materiałów (gruntów lub mieszanek) stabilizowanych spoiwami hydraulicznymi metodą na miejscu w porównaniu do wykonywania warstw metodą produkcji w wytwórniach stacjonarnych. Rozwiązania alternatywne dla kategorii ruchu KR1–KR4 z użyciem stabilizacji wykonywanej na miejscu oraz materiałów pochodzących z recyklingu przedstawiono między innymi w pracy [4].

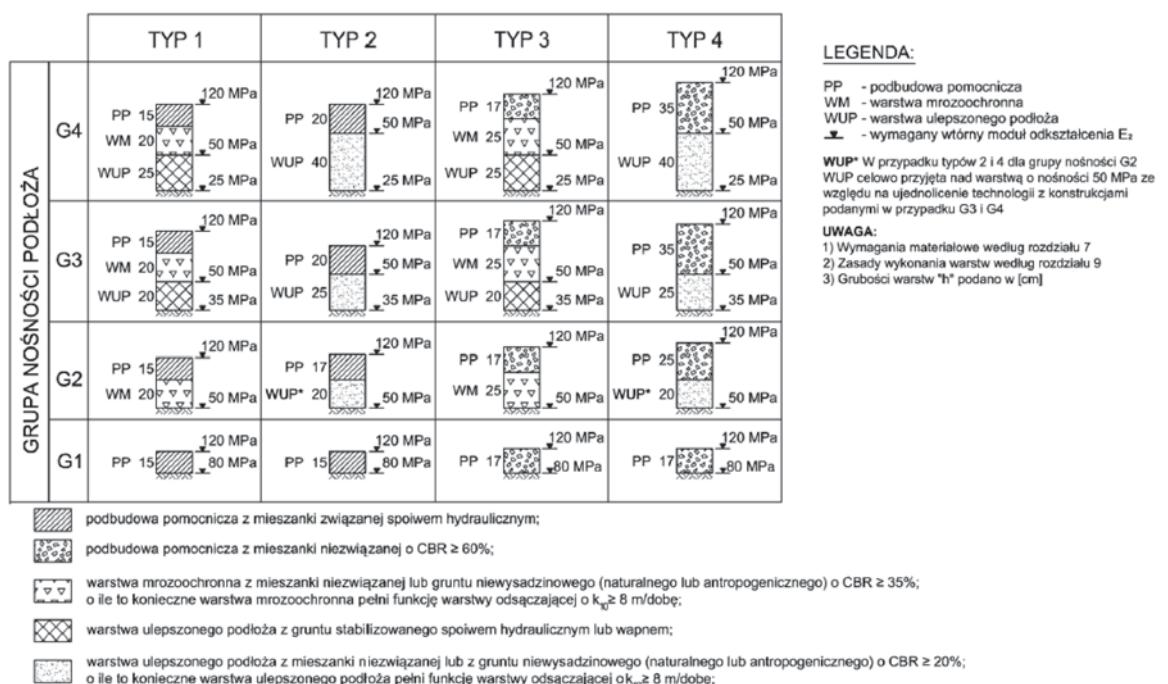
Ocena nośności dolnych warstw konstrukcji nawierzchni oraz nośność podłoża gruntowego

Ogólne wymagania nośności

Sposób oceny nośności podłoża i dolnych warstw konstrukcji pod górne warstwy konstrukcji powinien być przejrzysty i prosty. Rozwiązania wprowadzone przez Katalog 2014 istotnie takie są. Jednak w połączeniu z innymi istniejącymi i obowiązującymi przepisami ocena nośności podłoża pod konstrukcję nawierzchni staje się problematyczna. Przykładem takiego dokumentu, który komplikuje ocenę nośności jest norma PN-S-02205:1998 [5] „Roboty ziemne: Wymagania i badania”. Norma ta jest w dalszym ciągu obowiązująca na szeregu obecnie prowadzonych kontraktach (zapisy STWiORB). Porównanie wymagań przedstawiono w tabeli 1. Wartości dotyczące nośności różnią się istotnie, a różnice wynikają głównie z definicji, czym jest górna granica robót ziemnych.

Również sposób oceny nośności dolnych warstw ulepszonego podłoża nawierzchni jest odmienny. W przypadku normy PN-S-02205:1998 obejmuje badanie płytą statyczną, natomiast w przypadku Katalogu 2014 jest to badanie płytą statyczną (materiał niezwiązany) albo badanie wytrzymałości mieszanki związanej spoiwem, podobnie jak w poprzed-

Rys. 2 Typowe rozwiązania dolnych warstw konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża w przypadku kategorii ruchu KR5, KR6 i KR7 ($E_2 \geq 120$ MPa) [1]



nim katalogu z 1997 r. [3], określenie grubości i porównanie wyników z projektem. Dodatkowo autorzy Katalogu w swojej publikacji [6] wskazują na jeszcze jeden problem, a mianowicie nierozróżniania dwóch pojęć: „podłoża gruntowego budowli ziemnej” oraz „podłoża gruntowego nawierzchni”. Wszystkie wymienione czynniki mogą powodować i niestety z doświadczenia autorów powodują nieporozumienia na linii projektant – wykonawca – inwestor.

Tabela 1. Wymagania dotyczące poszczególnych etapów prac zgodnie z Katalogiem 1997/2014 oraz normą PN-S-02205:1998

Kategoria ruchu	Załącznik 5 do WT***/ Katalog 1997	Norma PN-S-02205:1998 – nasyp (podłoża/ ulepszonego podłoża)	Katalog 2014 (nośność na górnej powierzchni robót ziemnych)	Katalog 2014 (nośność na dolnych warstwach konstrukcji)
KR1-KR2	100**	100 MPa**	–*	80 MPa
KR3-KR4	120**	100 MPa**	50 MPa	100 MPa
KR5-KR7	120**	120 MPa**	50 MPa	120 MPa

* w zależności od przyjętego rozwiązania, wiążąca jest wartość nośności pod górnymi warstwami konstrukcji

** wartość wymagana pod górne warstwy konstrukcji i ulepszonego podłoża

*** nieobowiązujący

Nośność warstw związanych spoiwami

Sposób oceny nośności warstw wykonanych z materiałów związanych spoiwem wynika ze specyfiki ich pracy. Nośność tych warstw musi być zachowana w całym okresie użytkowania drogi, a nośność warstw związanych spoiwem jest zmienna. Początkowo wraz z wiązaniem spoiwa sztywność (a więc i nośność) materiału wzrasta, a następnie po związaniu warstwy i wystąpieniu spękań termicznych (tzw. II faza pracy) następuje obniżenie sztywności materiału, a tym samym mniejsze wartości modułu sprężystości.

Na etapie projektowania należy przyjąć takie parametry, które będą bezpieczne i gwarantują odpowiedni poziom nośności przez cały okres użytkowania konstrukcji. Materiały związane spoiwami hydraulicznymi (ich charakterystyki wytrzymałościowe) stosowane do dolnych warstw konstrukcji nawierzchni wg Katalogu 2014 zestawiono w tabeli 2. Warto zwrócić uwagę na różnice w module sprężystości w zależności od fazy pracy. Założone parametry należy uznać za bezpieczne, a sprawą dyskusyjną jest rozważenie możliwości przyjęcia modelu nieliniowego wzrostu modułu sprężystości w przypadku grubych warstw stabilizacji (30 cm i więcej). Podejście takie

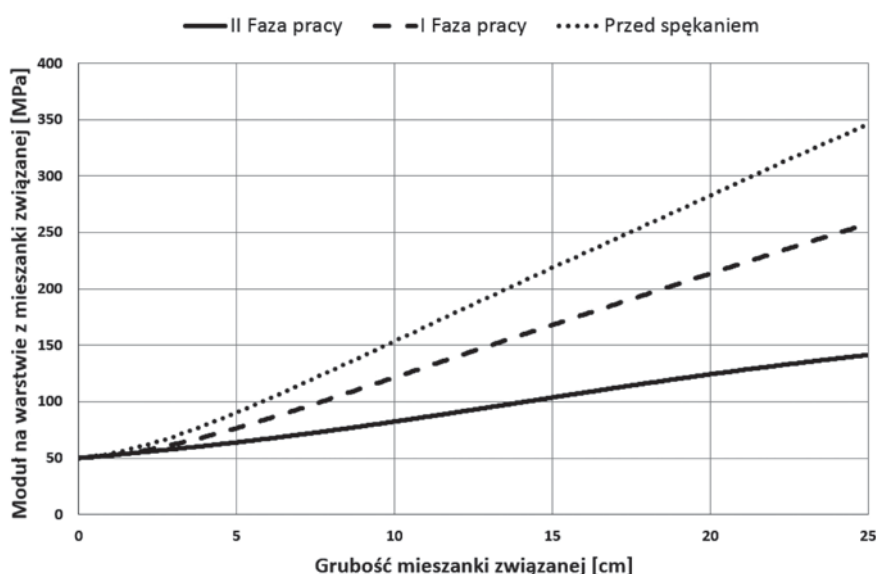
uwzględnia niewielkie naprężenia występujące na spodzie grubych warstw stabilizacji, które nie prowadzą do szybkiego zniszczenia warstwy związanej spoiwem. W trakcie opracowywania nowego Katalogu 2014 przyjmowano znacznie wyższe parametry wytrzymałościowe warstwy z mieszanki związanej spoiwem $R_m=2,5$ MPa niż ostatecznie opublikowano w Katalogu 2014. Wartość modułów sprężystości mieściła się wówczas w przedziale od 300 do 600 MPa [7]. Ostatecznie jednak przyjęto moduł równy 200 MPa dla mieszanki $C_{1,5/2,0}$. Na rysunku 3 przedstawiono zależność modułu zastępczego na warstwie z mieszanki związanej od jej grubości i fazy pracy. W związku z powyższym wartość modułu sprężystości przyjmowana do projektowania jest kluczowa dla zakładanej trwałości zmęczeniowej.

Nośność podłoża gruntowego (grunt rodzimy, grunt nasypowy)

W celu poprawnego zaprojektowania dolnych warstw konstrukcji i ulepszonego podłoża należy w sposób szczegółowy określić warunki gruntowo-wodne zarówno w wykopie (grunt rodzimy), jak i rodzaj gruntu występującego w nasypie. W Polsce, od co najmniej 40 lat stosuje się pojęcie grup nośności [9]. Grupa nośności G_r – to parametr charakteryzujący nośność podłoża w zależności od rodzaju

Tabela 2. Wybrane parametry mieszanek związanych stosowanych do podbudów pomocniczych w fazie przed i po spękaniu [1]

Mieszanka związana	I faza, przed spękaniem		II faza, po spękaniu		
	E [MPa]	Współczynnik Poissona [-]	Duże bloki E [MPa]	Małe bloki E [MPa]	Współczynnik Poissona [-]
$C_{3/4}$	4800	0,25	2000	400	0,30
$C_{5/6}$	7200	0,25	2500	500	0,30



Rys. 3. Porównanie modułów zastępczych na warstwie z mieszanki związanej w zależności od fazy pracy mieszanki (Podłoża $E_2>80$ MPa, mieszanka $C_{3/4}$) [8]

gruntu i warunków wodnych. Klasyfikacja podłoża do danej grupy nośności powinna być przeprowadzona według dwóch sposobów [1]:

- wartości wskaźnika nośności CBR,
- wysadzinowości gruntu i warunków wodnych.

W przypadku, gdy wyniki klasyfikacji podłoża gruntowego nawierzchni według tych dwóch sposobów są różne, to do projektowania należy przyjąć gorszą grupę nośności podłoża gruntowego. W przypadku dróg ekspresowych i autostrad obligatoryjne powinny być wykonane badania laboratoryjne gruntu. W odniesieniu do pozostałych dróg dopuszcza się określenie grupy nośności na podstawie wysadzinowości gruntu i warunków wodnych. Podział na grupy nośności na podstawie CBR i modułu E_2 przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Klasyfikacja grup nośności podłoża gruntowego nawierzchni G_i [1]

Grupa nośności podłoża gruntowego G_i	Wskaźnik nośności CBR po 4 dniach nasączenia wodą [%]	Wtórny moduł odkształcenia E_2 [MPa]
1	$CBR \geq 10$	80
2	$5 \leq CBR < 10$	50
3	$3 \leq CBR < 5$	35
4	$2 \leq CBR < 3$	25

Wtórny moduł odkształcenia określa się w celu weryfikacji założeń dotyczących grup nośności na etapie prowadzenia budowy. Wykazanie lepszych parametrów (wyższy moduł odkształcenia) nie powinno być przyczyną zmiany grubości warstw ulepszanego podłoża konstrukcyjnych.

W ostatnim okresie czasu wśród osób zajmujących się geotechniką można spotkać opinie, że określanie grup nośności podłoża jest sprzeczne z normami Eurokod 7 [10, 11]. W istocie określenie grup nośności podłoża nie koliduje z zapisami w Eurokodzie, co wyjaśniają autorzy Katalogu w publikacji [6]. W innych opracowanych katalogach europejskich wprowadzono „grupy” kategoryzujące podłoże pod konstrukcje nawierzchni [12, 13, 14].

Projektowanie warstw ulepszanego podłoża z wykorzystaniem materiałów związanych spoiwem

Przy projektowaniu indywidualnym nawierzchni drogowych przyjmuje się w niektórych przypadkach założenie, że konstrukcja nawierzchni spoczywa na podłożu gruntowym odpowiednio zagęszczonym i wzmocnionym do nośności określonej odpowiednim wtórnym modułem odkształcenia, zależnym od kategorii ruchu. W przypadku niespełnienia warunku wymaganej nośności należy na górnej powierzchni podłoża wykonać warstwę ulepszanego podłoża, która pełni istotną rolę w pracy nawierzchni, natomiast nie jest wliczana w skład warstw konstrukcji nawierzchni. Minimalną

grubość warstwy ulepszanego podłoża potrzebną do uzyskania wymaganej wartości wtórnego modułu odkształcenia można określić na podstawie wartości modułu zastępczego, czyli modułu odpowiadającego parametrom warstw w całym okresie użytkowania. Sposób wyznaczania modułu zastępczego szczegółowo opisano w pracy [15]. W praktyce drogowej można spotkać również inne metody wyznaczania minimalnej grubości warstwy ulepszanego podłoża na przykład według sposobu opisanego w instrukcji kolejowej ID-3 [16] bazującej na metodzie OSZD.

W artykule przedstawiono dwa rozwiązania (tabela 4), które były zaproponowane przez wykonawców na dwóch kontaktach realizowanych w Polsce. W obydwu przypadkach wykonawcy twierdzili, że uzyskają wymaganą nośność na poziomie 120 MPa. Wartość ta w projektach konstrukcji nawierzchni była wymagana pod pakietem górnych warstw konstrukcji. W celu wyznaczenia modułu zastępczego w pierwszej kolejności przy wykorzystaniu programu BISAR dla przyjętego układu wyznaczono ugięcia sprężyste na górze warstw. Następnie obliczono moduł zastępczy ze wzoru Boussinesq'a:

$$E_{zast} = \frac{qD(1-\nu^2)}{w} \quad (1)$$

w którym:

E_{zast} – moduł zastępczy wyznaczony na wierzchniej warstwie,

q – ciśnienie kontaktowe koła, $q=0,65$ MPa,

D – średnia zastępcza śladu koła, $D=0,313$ m,

ν – współczynnik Poissona, $\nu=0,3$,

w – ugięcie na powierzchni układu warstw, obliczone w programie BISAR [m]

Analizując obliczone wartości modułu zastępczego określonego ze wzoru 1 dla poszczególnych konstrukcji (tab. 4) można stwierdzić, że warstwa gruntu stabilizowanego spoiwem $C_{0,4/0,5}$ nie zapewni wymaganej nośności określonej wtórnym modułem odkształcenia ($E_2 \geq 120$ MPa).

Tabela 4. Porównanie warstw doprowadzających do nośności 120 MPa na dwóch realizowanych kontraktach i wyniki obliczeń uzyskanego modułu zastępczego – rozwiązania dla grupy nośności G4

Konstrukcja nr 1 (kontrakt 1)		Konstrukcja nr 2 (kontrakt 2)	
Warstwa mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym stabilizowana na miejscu (piasek z dowozu) $C_{1,5/2,0}$	15 cm	Warstwa gruntu stabilizowanego spoiwem $C_{0,4/0,5}$	49 cm
Warstwa gruntu stabilizowanego spoiwem $C_{1,5/2,0}$	40 cm		
Podłoże gruntowe G4		Podłoże gruntowe G4	
Warstwa $C_{1,5/2,0}$ $E=250$ MPa $\nu=0,3$ Podłoże $E=25$ MPa $\nu=0,35$		Warstwa $C_{0,4/0,5}$ $E=150$ MPa $\nu=0,3$ Podłoże $E=25$ MPa $\nu=0,35$	
E = 124 MPa		E = 87 MPa	

Porównywane konstrukcje są zupełnie inne w świetle przyjętych kryteriów oceny nośności. W przypadku konstrukcji nr 1 wykonawca jako kryteria oceny wymaganej nośności przyjął wytrzymałość warstwy stabilizacji na ściskanie i jej grubość, co jest zbieżne z założeniami przyjętymi w Katalogu z 2014 r. Natomiast w przypadku drugiej konstrukcji wykonawca i projektant założyli, że wystarczającym parametrem pozwalającym uzyskać wymaganą nośność jest wtórny moduł odkształcenia określany w badaniu płytą VSS i powołali się przy tym na normę PN-S-02205:1998 oraz pozytywne wyniki badań wykonanych na odcinkach doświadczalnych. Uzyskane pozytywne wyniki badań na odcinkach doświadczalnych wynikają z faktu, że wykonawca określił wtórny moduł odkształcenia warstwy z gruntu stabilizowanego spoiwem o klasie wytrzymałości $C_{0,4/0,5}$ w pierwszej fazie pracy, kiedy jeszcze materiał nie popękał. Natomiast w obliczeniach zakłada się moduł sprężystości w czasie drugiej fazy pracy tego materiału, tj. po spękaniu na małe bloki. W przypadku konstrukcji nr 2 dochodzi zasadniczo tylko do osuszenia gruntu i nie ma żadnej gwarancji, że nośność w całym okresie eksploatacji zostanie zachowana. Przy czym w omawianym przypadku (konstrukcja nr 2) uzyskany moduł nie może być utożsamiany z wymaganiami dla podłoża w projekcie konstrukcji nawierzchni. Może się wydawać, że tak istotne błędy nie mają prawa się pojawiać. Jak uczy doświadczenie błędy tego rodzaju pojawiają się i prawdopodobnie czasami może dochodzić do ich realizacji. W przypadku zarządców dróg niższych klas może się zdarzyć, że z powodu braku odpowiedniej kadry błędne rozwiązanie (konstrukcja nr 2) nie zostanie odrzucone i w przyszłości dojdzie do przedwczesnego zniszczenia nawierzchni.

W przypadku wykonywania badań płytą VSS na warstwach związanych spoiwami hydraulicznymi, parametrem nie budzącym wątpliwości interpretacyjnych jest wskaźnik odkształcenia I_0 służący do oceny zagęszczenia warstwy. Badanie należy wykonać jednak przed rozpoczęciem wiązania spoiwa. Natomiast interpretacja wartości modułów napotyka na problemy:

- w przypadku wykonywania badania przed związaniem spoiwa uzyskuje się zaniżone wartości modułów z uwagi na brak efektu wzmocnienia warstwy,
- badania wykonywane po związaniu warstwy charakteryzują się zawyżonymi wartościami modułów z uwagi na wykonywanie badania w I etapie pracy warstwy przed spękaniem.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono problemy, jakie mogą występować przy projektowaniu i wykonawstwie dolnych warstw konstrukcji nawierzchni. Pomimo dość jasnych zapisów występujących w najnowszym Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych mogą się pojawić problemy przy interpretacji wyników nośności na warstwach związanych spoiwem hydraulicznym. Dotyczy to przypadków wykonywania badań VSS na warstwach związanych przy nie uwzględnianiu etapowości pracy

tego rodzaju warstw. Tylko odpowiednio zaprojektowany mocny fundament, jakim są dolne warstwy, pozwala na uzyskanie odpowiedniej trwałości konstrukcji nawierzchni jako całości. Z tych względów należy dążyć do ujednoczenia przepisów dotyczących odbioru robót ziemnych i ulepszonego podłoża. W tak istotnej kwestii nie może być wątpliwości interpretacyjnych. Nerozwązanie tego problemu stwarza duże ryzyko dla inwestorów, że produkt finalny nie spełni zakładanych założeń. Na podstawie przeprowadzonych rozważań i analiz można sformułować następujące wnioski:

- istnieje pilna potrzeba ujednoczenia zapisów, w szczególności w zakresie norm i katalogów projektowania nawierzchni, a wymagania w odniesieniu do poszczególnych warstw powinny być identyczne,
- nośność w przypadku warstw dolnych konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża związanych spoiwem powinna być oceniana tylko na podstawie wytrzymałości warstwy na ściskanie i grubości warstwy po wbudowaniu,
- badanie płytą VSS warstw związanych spoiwem można wykorzystać do oceny ich zagęszczenia i powinno być wykonywane niezwłocznie po zakończeniu procesu zagęszczania danej warstwy.

Bibliografia

- [1] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Załącznik do zarządzenia Nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.
- [2] Wirtgen Cold Recycler and Soil Stabilizer – materiały producenta
- [3] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych 1997, IBDiM, Warszawa 1997
- [4] Majer S., Budziński B., Analiza wzmocnienia podłoża pod konstrukcje nawierzchni dróg obciążonych ruchem lekkim i średnim według KTKNPIP, Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury, journal of civil engineering, environment and architecture, s. 91-98, t. XXXIII, z. 63 (1/II/16), styczeń-marzec 2016
- [5] PN-S-02205:1998 Drogi samochodowe Roboty ziemne: Wymagania i Badania
- [6] Alenowicz J., Dołycki B., Jaskuła P., Nośność podłoża gruntowego w projektowaniu konstrukcji nawierzchni Grupy nośności podłoża, Magazyn Autostrady 11-12/2017, s. 32-36
- [7] Weryfikacja i aktualizacja „Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych” z 1997 roku raport z drugiego etapu, Politechnika Gdańska, 2010
- [8] Majer S., Budziński B., Możliwe błędy w indywidualnym projektowaniu konstrukcji nawierzchni, Magazyn Autostrady 4/2017, s. 68-72
- [9] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych 1977, IBDiM, Warszawa 1977
- [10] PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- [11] PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego
- [12] Design Manual for Road & Bridges. Highways Agency DMRB 2006
- [13] Catalogue des structures de chaussées, Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France, 2003
- [14] Secciones de firme, 6.1. IC, Direction General de Carreteras, Ministerio de Fomento 2003
- [15] Judycki J., Analizy i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, WKŁ, Warszawa 2014
- [16] Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3, PKP PLK S.A., Warszawa 2009