

Badanie nośności nasypów drogowych przy wykorzystaniu lekkiej płyty dynamicznej

Mgr inż. Grzegorz Rogojasz, Wojskowa Akademia Techniczna

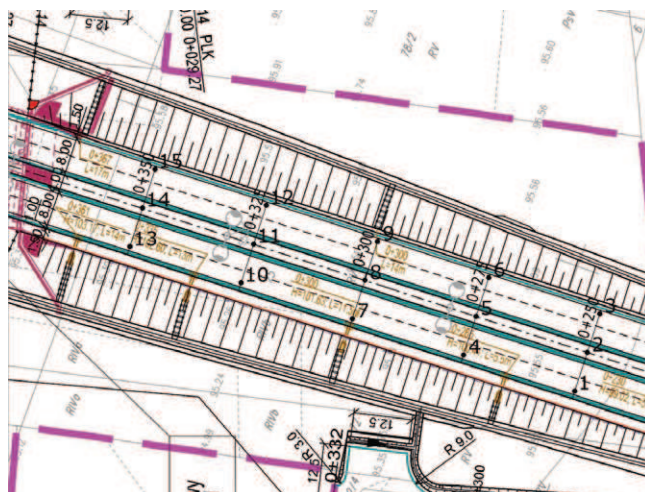
1. Wprowadzenie

Nasypy drogowe są podstawową budowlą ziemną wykonywaną w trakcie budowy dróg kołowych. W dużej mierze od jakości ich wykonania zależy przyszła trwałość eksploatacyjna konstrukcji nawierzchni. Poprawne wybudowanie, a zwłaszcza zagęszczenie, umożliwia długoletnie eksploataowanie drogi. Jeżeli natomiast nasypy w trakcie budowy zostaną niedogęszczone lub niejednorodnie zagęszczone, wówczas okres eksploatacji nawierzchni znacznie się skraca. Artykuł ma na celu przedstawienie korzyści wynikających z badania zagęszczenia nasypów drogowych lekką płytą dynamiczną, przy wykorzystaniu opracowanych przez IBDiM współczynników korelacyjnych oraz porównaniu ich do współczynników określonych w normach niemieckich.

2. Wymagania normowe

Niezbędny zakres badań nośności nasypów drogowych jest określony w [3]. Polska norma dopuszcza ocenę nośności warstw nasypowych jedynie poprzez badanie Proctora lub badanie wtórnego modułu odkształcenia aparatem VSS. W realiach budowy badanie aparatem VSS wykonuje się bezpośrednio pod nasypem oraz na warstwie mrozoochronnej. Zagęszczenie poszczególnych warstw nasypu określa się wykonując badanie Proctora. Badanie to jest niestety czasochłonne i nie daje wyniku bezpośrednio na budowie.

Niektóre laboratoria w Polsce oceniają stan zagęszczenia, wykorzystując płytę dynamiczną, ze względu na krótki czas trwania badania (około 3 min na punkt pomiarowy) oraz stale rosnące tempo budowy dróg. Kontrola zagęszczenia płytą dynamiczną opiera się na zależności między zagęszczeniem warstwy a jej ugięciem. W tym celu konieczna jest znajomość współczynników korelacyjnych, umożliwiających określenie nośności badanej warstwy. Ustalenie wartości współczynników korelacyjnych było celem pracy badawczej zrealizowanej przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad pt. „Badanie i ustalenie zależności korelacyjnych dla oceny stanu zagęszczenia i nośności gruntów niespoistych płytą dynamiczną”.



Rys. 1. Plan sytuacyjny odcinka pomiarowego

3. Badania doświadczalne

Badania modułu dynamicznego, mające na celu określenie jednorodności zagęszczenia nasypów drogowych, zostały przeprowadzone na odcinku doświadczalnym w ciągu drogi wojewódzkiej DW579 na nasypie przed obiektem mostowym. Długość odcinka wynosiła 100 m natomiast szerokość 20 m. Na obszarze badawczym wyznaczono 15 punktów pomiarowych. Wysokość nasypu mieściła się w przedziale 3-6 m, obiekt był wykonany w całości z piasku średniego o uziarnieniu nieciągłym, miąższość każdej warstwy wynosiła 50 cm. Schemat odcinka pomiarowego wraz z punktami pomiarowymi przedstawia rysunek 1.

Pomiary modułu dynamicznego każdej kolejnej warstwy wykonywane były w tych samych punktach. Dla każdej warstwy nasypowej wykonano badanie Proctora oraz wskaźnika CBR.

4. Wyniki badań doświadczalnych

Wyniki badań doświadczalnych przedstawione zostały w postaci mapy uzyskanych modułów zagęszczenia warstw nasypowych. Na rysunku 2a przedstawiono mapę modułów dynamicznych dla podłoża nasypu, natomiast na rysunku 2b przedstawiono mapę modułów dynamicznych dla pierwszej warstwy nasypu.

Na rysunku 2c przedstawiono przykładową charakterystykę przebiegu modułów dynamicznych przez poszczególne warstwy nasypowe w punktach 13, 14, 15. Tabela 1 przedstawia wartości wtórnego modułu odkształcenia E_2 i wskaźnika zagęszczenia I_s w funkcji modułu dynamicznego E_{vd} w zależności od rodzaju gruntu sypkiego opracowane według [1].

Przybliżona zależność wg [2] wtórnego modułu odkształcenia E_2 od modułu dynamicznego jest opisana zależnością (1).

W tabeli 2 zestawione zostały wyniki badań modułu dynamicznego E_{vd} dla pierwszej warstwy nasypowej wraz z przeliczeniem zgodnym z [1] i [2] na wtórny moduł odkształcenia E_2 oraz wskaźnik zagęszczenia I_s .

$$E_2 = 600 \ln \frac{300}{300 - E_{vd}} \quad (1)$$

gdzie:

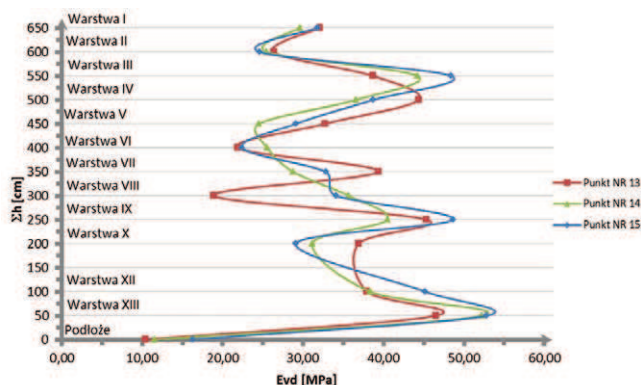
E_2 – wtórny moduł odkształcenia [MPa],

E_{vd} – moduł dynamiczny [MPa].

Analizując uzyskane wyniki modułów dynamicznych dla podłoża należy stwierdzić, że jest ono niejednorodnie zagęszczone, współczynnik zmienności wynosi 37%, a rozstęp wyników modułu dynamicznego 24 MPa. Średni moduł dynamiczny dla podłoża gruntowego jest równy 21 MPa. Optymalne zagęszczenie podłoża

gruntowego uzyskano w połowie długości badanego odcinka, natomiast najniższe zagęszczenie na końcu badanego odcinka.

Pierwsza warstwa nasypu została jednorodnie zagęszczona, współczynnik zmienności wynosi tylko 18%. Pomimo jednorodnego zagęszczenia, nie ma ona wystarczającej nośności określonej w [3]. Średni wskaźnik zagęszczenia dla analizowanej warstwy jest równy 0,97.



Rys. 2c. Wykres modułu dynamicznego w zależności od wysokości nasypu

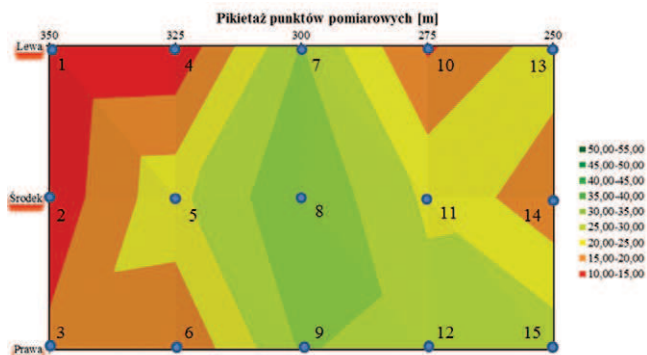
Analizując rozkład zagęszczenia nasypu drogowego względem jego wysokości w punktach pomiarowych 13, 14 oraz 15 należy stwierdzić, że kolejne warstwy nasypowe zostały zagęszczane w sposób nierównomierny. W trakcie budowy nie uzyskano wzrostu nośności nasypu. Otrzymana nośność I warstwy nasypowej jest niższa niż V i VI warstwy oraz podłoża gruntowego. Największą nośność uzyskano dla XIII warstwy nasypowej. Wysoką nośnością charakteryzują się również III i IX warstwa nasypowa.

Na podstawie analizy wyników całego badanego nasypu drogowego należy stwierdzić, że wszystkie badane warstwy zostały zagęszczane do jednakowego poziomu, dla którego średni wskaźnik zagęszczenia wynosi 0,97, z rozstępem wyników modułu dynamicznego 22,55 MPa i współczynnikami zmienności równym 21%. Średni moduł dynamiczny uzyskany dla całego nasypu wynosi 32,05 MPa.

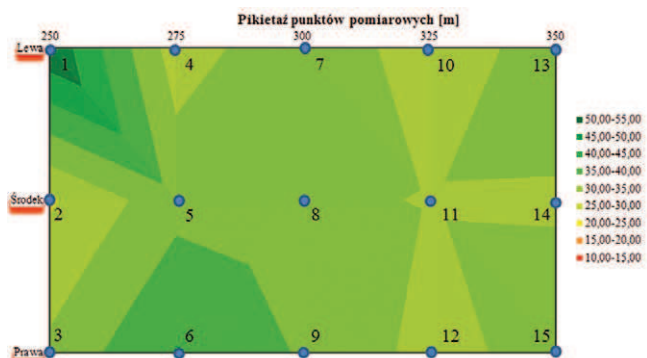
Niepokojące jest słabe zagęszczenie ostatnich warstw nasypowych, stanowiących podłoże konstrukcji nawierzchni drogowej, które ma duże znaczenie na trwałość zmęczeniową konstrukcji drogi.

Na podstawie powyższych wyników można stwierdzić, że korelacja wtórnego modułu odkształcenia E_2 od modułu dynamicznego E_{vd} przedstawiona w [2] jest wystarczająco zbliżona z korelacją opracowaną doświadczenie [1] dla piasków średnich o ciągłym uziarnieniu. Natomiast wyniki wtórnego modułu odkształcenia E_2 obliczonego wg [2] są średnio o 11,02 MPa mniejsze niż wyniki uzyskane wg [1] dla kruszywa o uziarnieniu nieciągłym.

Wymagane wartości wskaźnika zagęszczenia I_s oraz wtórnego modułu odkształcenia E_2 w podłożu wykopów



Rys. 2a. Mapa modułów dynamicznych E_{vd} [MPa] dla podłoża



Rys. 2b. Mapa modułów dynamicznych E_{vd} [MPa] dla I warstwy nasypu

Tabela 1. Wartości wtórnego modułu odkształcenia E_2 i wskaźnika zagęszczenia I_s w funkcji modułu dynamicznego E_{vd} w zależności od rodzaju gruntu sypkiego

Rodzaj gruntu	Wtórny moduł odkształcenia E_2 [MPa]		Wskaźnik zagęszczenia I_s	
	uziarnienie ciągłe $c_u \geq 5$	uziarnienie nieciągłe $c_u < 5$	uziarnienie ciągłe $c_u \geq 5$	uziarnienie nieciągłe $c_u < 5$
piasek drobny	$2,06 E_{vd} - 9,20$	$1,57 E_{vd} + 5,91$	$0,0016 E_{vd} + 0,93$	$0,0013 E_{vd} + 0,94$
piasek średni	$1,91 E_{vd} + 9,17$	$2,54 E_{vd} - 2,86$	$0,0015 E_{vd} + 0,93$	$0,0013 E_{vd} + 0,93$
piasek gruby	$2,03 E_{vd} - 8,35$	$2,19 E_{vd} - 5,07$	$0,0015 E_{vd} + 0,93$	$0,0013 E_{vd} + 0,94$
pospółka	$1,70 E_{vd} + 10,56$	$1,85 E_{vd} + 3,54$	$0,0013 E_{vd} + 0,93$	$0,0013 E_{vd} + 0,93$
żwir	$1,86 E_{vd} + 2,08$	$1,57 E_{vd} + 5,91$	$0,0012 E_{vd} + 0,92$	$0,0011 E_{vd} + 0,93$

Tabela 2. Wyniki przeliczenia modułu dynamicznego E_{vd} na wtórny moduł odkształcenia E_2 oraz wskaźnik zagęszczenia I_s dla warstwy I nasypu

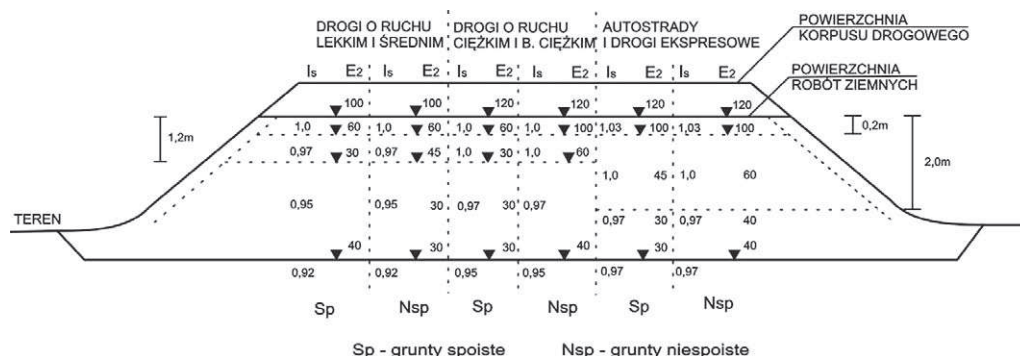
Numer punktu	Moduł dynamiczny E_{vd} [MPa]	Moduł wtórny E_2 wg [1] uziarnienie ciągłe [MPa]	Moduł wtórny E_2 wg [1] uziarnienie nieciągłe [MPa]	Moduł wtórny E_2 wg [2] [MPa]	Wskaźnik zagęszczenia I_s wg [1] uziarnienie ciągłe [MPa]	Wskaźnik zagęszczenia I_s wg [1] uziarnienie nieciągłe [MPa]
1	48,91	102,59	121,37	106,78	1,003	0,99
2	24,35	55,67	58,99	50,79	0,97	0,96
3	31,12	68,61	76,18	65,71	0,98	0,97
4	27,34	61,39	66,58	57,33	0,97	0,96
5	33,38	72,93	81,93	70,70	0,98	0,97
6	40,32	86,18	99,55	86,60	0,99	0,98
7	33,94	73,99	83,35	72,04	0,98	0,97
8	31,08	68,53	76,08	65,62	0,98	0,97
9	34,46	74,99	84,67	73,21	0,98	0,97
10	27,31	61,33	66,51	57,27	0,97	0,96
11	29,72	65,94	72,63	62,59	0,97	0,97
12	28,41	63,43	69,30	59,69	0,97	0,97
13	32,05	70,38	78,55	67,79	0,98	0,97
14	29,61	65,73	72,35	62,35	0,97	0,97
15	31,82	69,95	77,96	62,27	0,98	0,97

oraz przy wykonawstwie nasypów wg [3] przedstawiono na rys. 2d.

Drogę wojewódzką DW 579 należy zaliczyć do dróg o ruchu ciężkim, w związku z tym zgodnie z rys. 2d wymagany wtórny moduł odkształcenia na powierzchni robót ziemnych, czyli na ostatniej warstwie nasypu powinien wynosić 120 MPa, natomiast wskaźnik zagęszczenia 1,0.

Wymagania minimalnej wartości wtórnego modułu

odkształcenia spełnia jedynie punkt pomiarowy nr 1, dla którego $E_2 = 121,4$ MPa. Punkt ten jednak nie spełnia warunku minimalnego wskaźnika zagęszczenia. Pozostałe punkty nie mają wystarczającej nośności dla nawierzchni drogowej przeznaczonej do ruchu ciężkiego. Brak wystarczającej nośności oraz niejednorodność zagęszczenia nasypu może się przyczynić do znacznego skrócenia okresu eksploatacji nawierzchni drogowej, a przez to do wcześniejszego jej remontu.



Rys. 2d. Wymagania stawiane warstwowi konstrukcyjnym i warstwowi podłoża gruntowego wg [3] dla nasypów

5. Podsumowanie

Pomimo opracowania przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w 2005 r. szczegółowej instrukcji stosowania płyty dynamicznej [1] do oceny stanu gruntów niespoistych wbudowanych warstwowo, do dnia dzisiejszego nie powstał żaden dokument umożliwiający pomiar zagęszczenia przy użyciu płyty dynamicznej. W Niemczech [4, 5, 6, 7, 8] płyta jest powszechnie używana w badaniu stanu zagęszczenia warstw nasypowych. W Polsce w dalszym ciągu kontrola zagęszczenia nasypów skupia się na badaniu Proctora. Badanie to jest czasochłonne co powoduje ograniczenie ilościowe badań na każde 1000 m². Stałe rosnące tempo budowy dróg wraz z nieproporcjonalną do tego tempa liczbą pomiarów przyczynia się do coraz większej liczby błędów wykonawczych, zwłaszcza w obszarze robót ziemnych, a tym samym do skrócenia okresu eksploatacji nawierzchni i poniesienia dodatkowych kosztów związanych z wcześniejszym remontem.

Wykonywanie kontroli nośności nasypów przy wykorzystaniu płyty dynamicznej pozwoliłoby na zwiększenie

liczby punktów pomiarowych, gdyż wynik zagęszczenia uzyskuje się od razu na budowie. Większa liczba badań nie miałaby wpływu na tempo budowy, natomiast wyeliminowałaby błędy wykonawcze w postaci niedogęszczonych nasypów. Badanie zagęszczenia płytą dynamiczną pozwoliłoby na dokładniejszą ocenę oraz zapewnienie większej jakości wykonywanych robót.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Badanie i ustalenie zależności korelacyjnych dla oceny stanu zagęszczenia i nośności gruntów niespoistych płytą dynamiczną, IBDiM, Warszawa 2005
- [2] A. Szydło, Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2004
- [3] PN-S-02205:1998, Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania
- [4] TP BF-StB part B 8.3 Techniczne warunki badań dla gruntów i skał
- [5] ZTV E-StB 09 Dodatkowe warunki techniczne i wytyczne dla robót ziemnych obejmujących budowę dróg
- [6] ZTV T-StB 95 Dodatkowe warunki techniczne i wytyczne dla warstw nośnych przy pracach ziemnych
- [7] ZTV A-StB 97 Dodatkowe warunki techniczne umowy i wytyczne dla wykopów przeznaczonych na cele komunikacyjne
- [8] RIL 836, Deutsche Bahn AG (NGT39) Wytyczne dla wykorzystania lekkiej płyty do badań dynamicznych w budownictwie kolejowym

Nowa strona o domach z keramzytu już działa

Przejrzysta, czytelna, nowoczesna – tymi trzema słowami można określić nową stronę internetową www.lecadom.pl. Adresowana jest do inwestorów, projektantów i wykonawców domów jednorodzinnych, a poświęcona technologii budowy Leca® DOMów z keramzytu.

Witryna zawiera wiele użytecznych informacji – od ściśle technicznych po bardziej ogólne. Znajdują się tam m.in.

karty produktów, rysunki techniczne, instrukcje, programy dla projektantów, a także artykuły o technologii keramzytu, prezentacje zrealizowanych obiektów, filmy i porady. Dowiedzieć się z niej można o wyjątkowych właściwościach keramzytu oraz dlaczego tak ważne dla komfortu mieszkania są suche ściany domu.

Z myślą o przyszłych inwestorach przygotowano gotowe projekty Leca® DOMów opracowane przez Pracownie Projektowe Archipelag i Murator, a także wywiady z osobami, które od lat mieszkają w domach z keramzytu i chętnie podzieliły się swoimi spostrzeżeniami na temat etapów ich planowania, budowy i eksploatacji.

Projektanci znajdą gotowe do pobrania użyteczne narzędzia wspomagające prace projektowe, takie jak programy Konstruktor oraz Kobra, rozwiązania i detale, a także bibliotekę rysunków AutoCAD.

Dla wykonawców przeznaczone są m.in. szczegółowe informacje: jak szybciej i wygodniej budować ściany fundamentowe, jak łatwiej przygotować lekki beton, jak zadbać o właściwą izolację akustyczną budynków. Do tego praktyczne instrukcje „krok po kroku” dotyczące wykonywania poszczególnych prac budowlanych.

Strona, zaprojektowana zgodnie z najnowszymi trendami i z myślą o komforcie użytkownika, wyróżnia się prostotą przekazu oraz intuicyjnością. Ma bardzo wygodną nawigację, a dzięki temu, że automatycznie dostosowuje się do wielkości i rozdzielczości ekranu, można ją przeglądać na urządzeniach mobilnych.

Odwiedź stronę www.lecadom.pl

