

Jerzy PAWLICKI
Ján ČOŘEJ

ANALIZA CHARAKTERYSTYK ODKSZTAŁCENIA PODŁOŻA NAWIERZCHNI DROGOWEJ

Streszczenie. W artykule zaprezentowano metodę oceny nośności podłoża nawierzchni drogowej. Zbadano wpływ wilgotności na poziom statycznego modułu odkształcenia w dwóch cyklach obciążenia oraz zależność pomiędzy statycznym a dynamicznym modułem odkształcenia.

ANALYSIS OF DEFORMATION CHARACTERIZATION OF THE ROAD SURFACE SUBGRADE

Summary. The method of carrying capacity estimation of road surface subgrade is presented in this paper. The effect of moisture on the static deformation module level in two load cycles and dependence between static and dynamic deformation module has been examined.

1. WPROWADZENIE

Do najważniejszych charakterystyk nośności podłoża nawierzchni drogowej należą moduły sprężystości i odkształcenia. Dostarczają one wstępnych informacji przydatnych w projektowaniu i przy ocenie nawierzchni. Wartości charakterystyk nośności podłoża zależą w różnym stopniu od wilgotności gruntu, masy objętościowej, rodzaju obciążenia (statyczny, dynamiczny, pierwszy i drugi cykl) oraz od wielu innych czynników, które rozpatruje się na różnych poziomach procesu badawczego [3,4,8,12]. Wyniki mogą później zależeć od przyjętej metodyki pomiarów, jak również od sposobu ich szacowania.

Do badania różnych aspektów mechaniki nawierzchni i podłoża opracowano „Eksperymentalne stanowisko nawierzchni drogowych” w postaci zagłębienia (dołu) o szerokości 3,0 m i głębokości 0,9 m z dwoma podłużnymi pasami, w których zakotwiono dwie stalowe ramy w celu wywołania wymaganego nacisku osiowego. Pasy żelbetu o

szerokości 0,7 m każdy zabudowano do głębokości 1,6 m. Podłoże stanowi grunt ilasty o miękkiej plastyczności – średnia wilgotność próbek wynosiła 19,3%, maksymalną masę objętościową suchego gruntu $\rho_{d \max} = 1,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ określono za pomocą metody B Proctor Standard przy optymalnej wilgotności $w_{opt}=17\%$. Wartość projektową modułu sprężystości podłoża gruntowego $E_{p,r,s}=20 \text{ MPa}$ otrzymano z badania CBR=3%.

2. METODYKA POMIARU

Metodykę badania dobrano w celu określenia zależności:

- modułów sprężystości i odkształcania od wilgotności gruntów w podłożu,
- między modułami sprężystości otrzymanymi w pierwszym i drugim cyklu obciążenia,
- między modułami deformacji w pierwszym i drugim cyklu obciążenia,
- między statycznym a dynamicznym modułem deformacji.

Do statycznego badania obciążeniowego użyto płyty w kształcie koła o powierzchni $0,1 \text{ m}^2$, na podstawie którego obliczono statyczny moduł odkształcania E_0 [MPa] oraz statyczny moduł sprężystości E [MPa] według wzorów:

$$E_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{p \cdot r}{f_{\text{tot}}} \cdot (1 - \mu^2) \quad (1)$$

gdzie: μ – współczynnik Poissona,

p – ciśnienie pod płytą [MPa],

r – promień płyty [m],

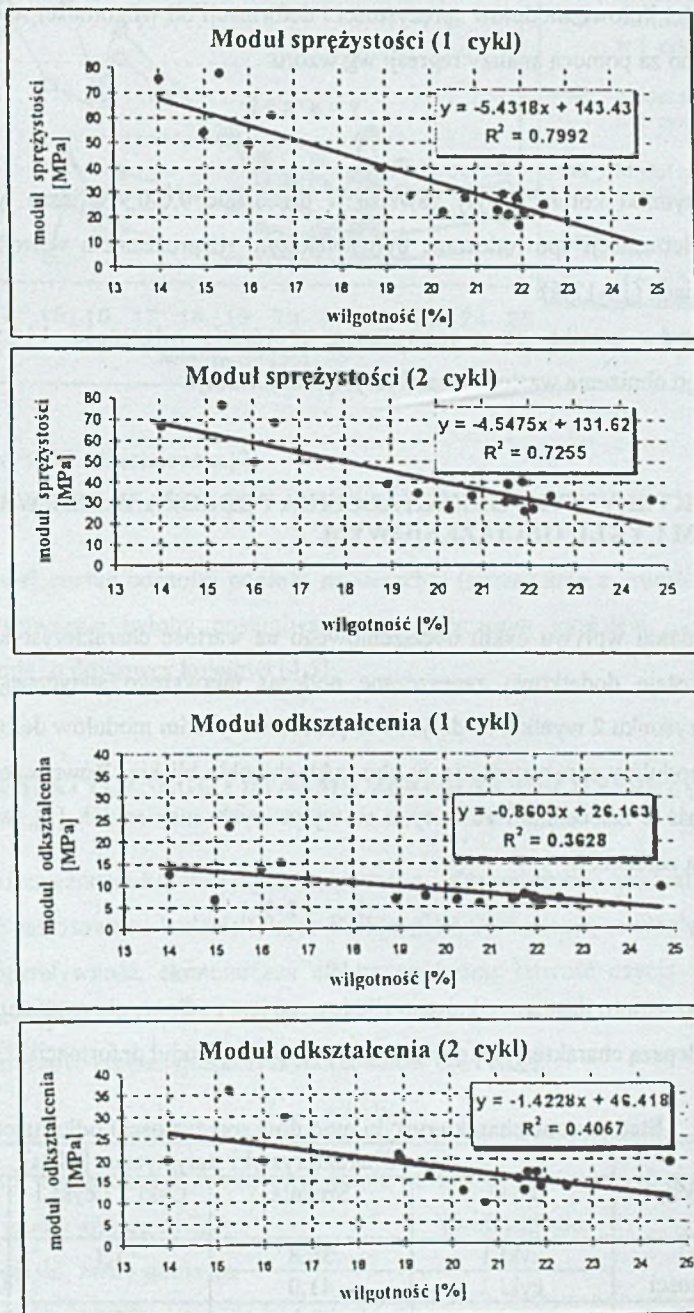
f_{tot} – średni całkowity wcisk płyty przy ciśnieniu „ p ” [m].

$$E_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{p \cdot r}{f_e} \cdot (1 - \mu^2) \quad (2)$$

gdzie: f_e – średni sprężysty wcisk płyty przy ciśnieniu „ p ” [m].

W dwóch cyklach badania statycznego zastosowano obciążenia 50, 100, 150 i 200 kPa. Maksymalne ciśnienie w pierwszym cyklu obciążeniowym przyjęto zgodnie z normą [9] 0,1 MPa, w drugim – zgodnie z normą [10] 0,2 MPa, co umożliwiło obliczenie modułu deformacji $E_{\text{def},2}$.

Badanie udarowe wykonano za pomocą lekkiej płyty dynamicznej o średnicy 300 mm.



Rys. 1. Zależność statycznego modułu sprężystości od wilgotności [2]

Fig. 1. Dependence of the resilience static module upon the moisture [2]

3. WPŁYW WILGOTNOŚCI NA ODKSZTAŁCENIE PODŁOŻA

Zależności liniowe modułów sprężystości i deformacji od wilgotności w obu cyklach (rys. 1) otrzymano za pomocą analizy regresji wg wzoru:

$$y = a \cdot x + b \quad (3)$$

Współczynniki korelacji były zawarte w przedziale 0,6-0,9. Niższe wartości korelacji modułów deformacji spowodowane były większym rozproszeniem wartości przy niższych wilgotnościach (14-17%).

Z wykresów wynika, że w rozważanym przedziale wilgotności 14-25% dochodzi do trzykrotnego obniżenia wartości charakterystyk deformacji.

4. CHARAKTERYSTYKI ODKSZTAŁCENIA PODŁOŻA W PIERWSZYM I DRUGIM CYKLU OBCIĄŻENIOWYM

Przy badaniu wpływu cyklu obciążeniowego na wartość charakterystyki zakłada się, że podłoże zostaje dodatkowo zagęszczane podczas pierwszego statycznego obciążenia. Z tablicy 1 i rysunku 2 wynika, że dotyczy to przede wszystkim modułów deformacji, natomiast wartości modułów sprężystości są w obu cyklach sobie bliskie. Równocześnie potwierdziło się zgodność z zaleceniami zawartymi w wytycznych austriackich [5], w których podano następującą zależność:

$$E_{v2} = 2 \cdot E_{v1} \quad (4)$$

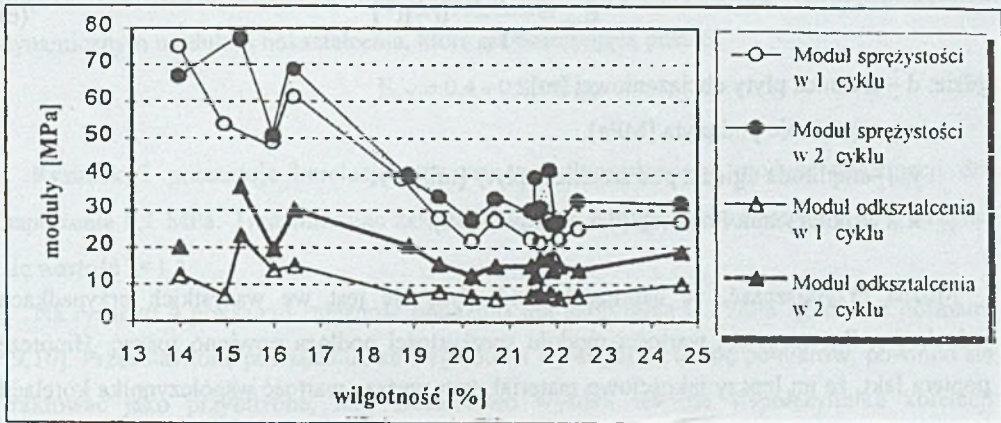
Ponieważ gruntu ilastego, z którego zbudowane jest podłoże, nie można uznać za materiał sprężysty, lepszą charakterystyką jest w tym przypadku moduł deformacji.

Tablica 1

Statystyczne charakterystyki modułów sprężystości i odkształcenia

Charakterystyka	Charakterystyki statystyczne [MPa]			
	Cykl obciążeniowy	Srednia	Cykl 2 / cykl 1	Odchylenie standardowe
Moduł sprężystości	cykl 1	36,8	1,1	18,5
	cykl 2	41,0		15,5
Moduł odkształcenia	cykl 1	9,3	2,0	4,4
	cykl 2	18,3		6,5

Źródło: [2]



Rys. 2. Charakterystyki odkształcenia [2]

Fig. 2. Deformation characterizations [2]

Przy jakościowej ocenie nośności podłoża nawierzchni (szczególnie z gruntów ilastych i gliniastych) właściwszym byłoby posługiwanie się statycznym modułem odkształcenia, podobnie jak czynią to drogowcy kolejowi [4,5].

5. KORELACJA STATYCZNEGO I DYNAMICZNEGO MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI

Przy śledzeniu zależności korelacyjnych statycznego i dynamicznego modułu deformacji znalazło szerokie zastosowanie badanie udarowe lekką płytą dynamiczną ze względu na takie jej zalety, jak operatywność, ekonomiczna efektywność oraz łatwość użycia w trudnych warunkach miejscowych.

Najczęściej zależność korelacyjna dotyczyła modułów E_{vd} i $E_{def,2}$:

$$E_{def,2} = k \cdot E_{vd} \quad (5)$$

Współczynnik k dla niektórych gruntów przyjmuje wartości z następujących przedziałów:

$k=1,3-1,5$ grunty gliniaste i ilaste,

$k=1,8-2,0$ piaski, żwiry gliniaste,

$k=2,0-3,0$ żwiry rzeczne, żwiry gruboziarniste,

$k=3,0-4,0$ grunty kamieniste.

Dynamiczny moduł odkształcenia ma postać [11]:

$$E_{vd} = \frac{\pi \cdot d \cdot \sigma}{4y_{m1}} \cdot (1 - \mu^2) \quad (6)$$

gdzie: d – średnica płyty obciążeniowej [m],

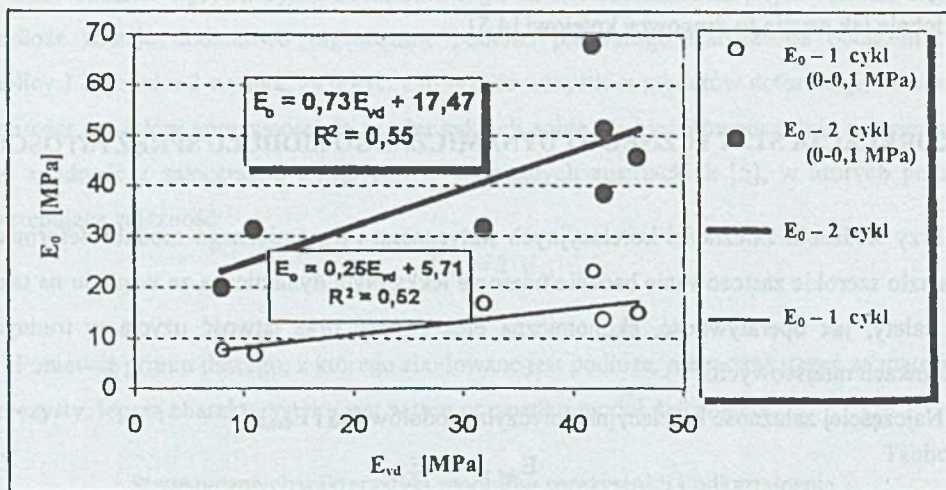
σ – naprężenie pod płytą [MPa],

y_{m1} – amplituda ugięcia pod środkiem płyty [m],

μ – współczynnik Poissona (dla gruntów 0,35).

Można przypuszczać, że naprężenie pod płytą nie jest we wszystkich przypadkach jednakowe. Ze wzrostem wartości modułu sprężystości podłoża powinno rosnąć. Hipotezę popiera fakt, że im lepszy jakościowo materiał, tym wyższa wartość współczynnika korelacji k we wzorze (4).

Materiał wyższej jakości powinien mieć wyższe wartości modułu sprężystości, co powinno generować wyższe amplitudy siły uderu. Zostanie wtedy przekroczone naprężenie pod płytą, którego wartość podaje producent – 0,1 MPa (spowodowane siłą o amplitudzie ok. 7 kN w czasie 18 ms).



Rys. 3. Zależność statycznego i dynamicznego modułu odkształcenia przy $p=0,1$ MPa [2]

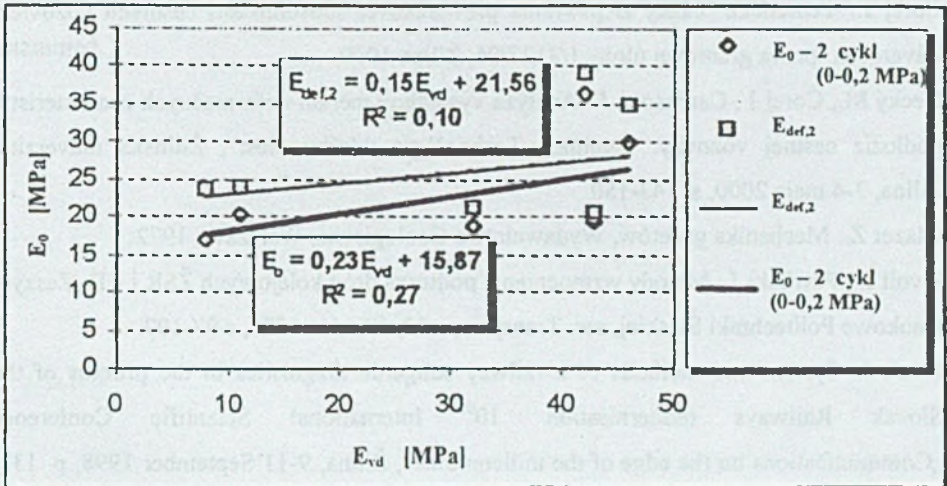
Fig. 3. Dependence of the static and dynamic deformation module at $p=0,1$ MPa [2]

Powyższe wnioski popiera zaczerpnięta z austriackiej normy [7] zależność korelacyjna między statycznym modułem odkształcenia E_{v2} w drugim cyklu obciążeniowym a dynamicznym modułem odkształcenia, która ma następującą postać:

$$E_{v2} = 0,4 \div 0,85 \cdot E_{dyn} \quad (7)$$

Rysunek 3 prezentuje korelację statycznego i dynamicznego modułu deformacji dla naprężenia 0,1 MPa. Transformując zależność $E_{0,2} \Rightarrow E_{vd}$ do postaci zalecanej w [7], otrzyma się wartość $k=1,3$.

Na rysunku 4 pokazano zależność obliczoną dla naprężenia 0,2 MPa zgodnie z normami [9,10]. Przedstawione powiązania, ze względu na ograniczoną liczbę pomiarów, powinno się traktować jako przybliżone, lecz stosunkowo wysoka wartość współczynnika korelacji ($E_{0,2} \Rightarrow E_{vd}$, $p=0,1\text{MPa}$, $R=0,74$) wskazuje na bliskie związki między tymi wielkościami.



Rys. 4. Zależność statycznego i dynamicznego modułu odkształcenia przy $p=0,2$ MPa [2]

Fig. 4. Dependence of the static and dynamic deformation module at $p=0,2$ MPa [2]

6. WNIOSKI

Z przedstawionej analizy wynikają następujące zalecenia i wnioski:

- w celu dokonania oceny jakościowej nośności podłoża nawierzchni drogowej powinno się stosować przede wszystkim statyczne badania obciążeniowe,

- system kontroli nośności podłoża powinien uwzględniać realny przedział wilgotności, z którego wybrane wartości mogą posłużyć w prowadzeniu badań odkształcalności podłoża: podobny efekt można uzyskać poprzez rozpoznanie zależności korelacyjnych występujących pomiędzy modułami odkształcenia a wilgotnością w przypadku konkretnych rodzajów gruntów,
- do oceny nośności słabego podłoża (grunty ilaste i gliniaste) bardziej przydatny może być moduł odkształcenia,
- dalsze badania nad korelacyjnymi powiązaniem między statycznym a dynamicznym modułem deformacji powinny wyjaśnić w sposób bardziej wiarygodny mechanizm rządzący tymi zależnościami.

Literatura

1. Čorej J.: Teoretické otázky zlepšovania prevádzkovej spôsobilosti cestných vozoviek. Závěrečná správa grantovej úlohy 1/3127/96, Žilina 1999.
2. Decký M., Čorej J., Cardasová J.: Analýza výsledkov meraní deformačných charakteristik podložja cestnej vozovky. Seminar „Technológie údržby ciest“, Žilinska univerzita, Žilina, 3-4 maja 2000, s. 143-150.
3. Glazer Z.: Mechanika gruntów, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1972.
4. Ižvolt L., Pawlicki J.: Metody wzmocnienia podtorza dróg kolejowych ŽSR i ČD. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Transport, z.30, Gliwice 1998, s.97-107.
5. Ižvolt L.: System and methods of a railway subgrade diagnostics in the process of the Slovak Railways modernisation. 10th International Scientific Conference „Communications on the edge of the millenniums”, Žilina, 9-11 September 1998, p. 133-136.
6. Kukułka J., Szydło A.: Projektowanie i budowa dróg. WKŁ, Warszawa 1986.
7. Litzka J.: Bemessung von Asphaltstrassen. Institut für Verkehrswesen, Wien 1997.
8. Pawlicki J., Ižvolt L., Slepecky J.: Metodyka rozpoznawania przyczyn i klasyfikacja odkształceń podtorza na modernizowanych drogach kolejowych ŽSR i PKP. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Transport, z.29, Gliwice 1997, s.83-91.
9. STN 73 6190 Statická zaťažovací zkouška podloží a podkladních vstev vozovek.
10. STN 72 1006 Kontrola zhutnenia zemin a sypanin.

11. STN 73 6190 Rázová zatěžovací zkouška netuhých vozovek a podloží.
12. Stypułkowski B., red.: Zagadnienia utrzymania i modernizacji dróg i ulic. WKŁ, Warszawa 1995.

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Abstract

For surface subgrade carrying capacity estimation first of all static loads are being used. Good measure for quality surface estimation, especially made of clayey and loamy soil, is deformation module. The method of carrying capacity estimation of road surface subgrade is presented in this paper. The effect of moisture on the static deformation module level in two load cycles and dependence between static and dynamic deformation module has been examined.

EFFECT OF CHANGING LOADS ON ASPHALT SURFACE FATIGUE LIMIT AND DEFORMABILITY

Summary. The problems connected with static deformation module and deformation under influence of multiple and constantly changing loads are presented in this paper. Measurements were made in laboratory conditions with static and dynamic loads.

1. WPROWADZENIE

Badania trwałości i uciążliwości nawierzchni asfaltowej pod wpływem wielokrotnego i zmieniającego się obciążenia są jednym z ważnych zagadnień w inżynierii drogowej.

- doświadczenia i metody badania trwałości nawierzchni,
- określenie wpływu czynników zewnętrznych na zmiany właściwości eksploatacyjnych

Badania te pozwalają określić między innymi zmiany struktury nawierzchni pod wpływem wielokrotnego i zmieniającego się obciążenia, odporność na powstawanie odkształceń.

W Polsce stosuje się trzy zasadnicze sposoby utrzymywania i modernizacji nawierzchni asfaltowych: powłokowe, powierzchniowe i odnowy. W odnowie nawierzchni asfaltowej stosuje się metody naprawy wykłosek, w tym naprawy punktowe i liniowe, a także zabiegów ożywienia nawierzchni.