

DESIGN OF STRENGTHENING OF ROAD SURFACE PROJEKTOWANIE WZMOCNIEŃ NAWIERZCHNI DRÓG SAMOCHODOWYCH

Andrzej Surowiecki¹, Wojciech Kozłowski²

ABSTRACT

In article was strengthen the exploited roads, in order to adapt to increased traffic congestion and increased loads on vehicles. There were discussed the characteristics and scope of the two methods current in the Polish roads (PL). The first is the experimental and theoretical method, developed at the Institute of Road and Bridge Research in Warsaw. The second method, called the deflection method is based on measurements of vertical deformation of the surface was presented in Catalogue Reinforcements and Repairs. Both methods of road construction were on the upper layer of bitumen. Procedures were given for both methods and examples of numerical design of strengthening overlays.

Keywords:

road surface, strengthening, design

1. WPROWADZENIE

Z raportu Unii Europejskiej (EU), dotyczącego transportu wynika, że w roku 2011 zmniejszyło się tempo spadku liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w EU. W latach 2001-2010 liczba osób, które zginęły w wypadkach, zmniejszała się każdego roku średnio o 6%, natomiast w roku 2011 ten spadek wyniósł tylko 2%. Najgorzej w tym zestawieniu przedstawia się Polska i Belgia. W tych krajach liczba śmiertelnych ofiar na drogach znacznie wzrosła w roku 2011. Należy podkreślić, że drogi w Szwecji i Niemczech należą do najbardziej bezpiecznych w Europie.

¹ Andrzej Surowiecki, Assoc. Prof. Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Department of Civil Engineering, Pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, Poland, e-mail: andrzej.surowiecki@up.wroc.pl, Higher Military Schoole of Wrocław, Department of Security Engineering, Czajkowskiego St.108, 51-160 Wrocław

² Wojciech Kozłowski, PhD, Eng., Opole University of Technology, Department of Roads and Bridges, ul. Ozimska 75A, 45-368 Opole, Poland, e-mail: w.kozlowski@po.opole.pl

Jak wiadomo, na stan bezpieczeństwa na drogach wpływają różnorodne czynniki. Jednym z głównych czynników jest nieodpowiedni stan techniczny nawierzchni (uszkodzenia, wady technologiczne itp.) oraz nieprzystosowanie nośności konstrukcji nawierzchni do warunków eksploatacyjnych. Jednym ze sposobów poprawy tej sytuacji jest wzmocnienie konstrukcji nawierzchni. W Polsce drogowcy-projektanci dysponują metodą doświadczalno-teoretyczną, opracowaną w Instytucie badawczym Dróg i Mostów w Warszawie (PJ-IBD) [2, 3, 4] oraz metodami: ugięć i mechaniczną, przedstawionymi w Katalogu Wzmocnień i Remontów [1]. W referacie omówiono zasady ogólne stosowania tych metod.

2. METODA EMPIRYCZNA PJ-IBD

W metodzie PJ-IBD korzysta się z zależności opracowanych w procesie badań AASHO. Konstrukcję jezdni drogowej traktuje się jak układ wielowarstwowy: warstwa jezdna, górna i dolna warstwa podbudowy, warstwa odcinająca.

Całkowita grubość nawierzchni jest określana ze wzoru:

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = 3 ab_1 + 15 ab_2cd_1 + 10 ab_3d_2e + 5b_4d_2 \quad (1)$$

gdzie:

h – całkowita grubość nawierzchni [m]; h_1, h_2, h_3, h_4 – grubości poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni; 3, 15, 10, 5 – grubości poszczególnych warstw nawierzchni stosowane w odniesieniu do ruchu lekkiego i dobrych warunków wodno-gruntowych podłoża,

a - współczynnik zależny od natężenia ruchu na drodze [2]; $b_1, b_2, b_3, b_4, c, d_1, d_2, e$ – współczynniki przyjmowane z tablic, zależnie od natężenia ruchu na drodze, materiałów nawierzchni i podłoża [2].

Pełny zapis wzoru (1) stosuje się tylko wtedy, gdy nawierzchnia jest projektowana na podłożu wysadzinowym, na którym układana jest warstwa odsączająca lub odcinająca. W przypadku stabilizacji górnej warstwy podłoża lub wykonania dolnej warstwy podbudowy z piasków drobnoziarnistych, wzór podstawowy (1) może być uproszczony (nie jest konieczne wbudowanie warstwy odsączającej):

$$h = 3 ab_1 + 15 ab_2cd_1 + 10 ab_3d_2e \quad (2)$$

Jeżeli w podłożu zalegają przepuszczalne (niewysadzinowe) grunty, wzór (1) otrzymuje postać zredukowaną (nie jest konieczne zastosowanie dolnej warstwy podbudowy):

$$h = 3 ab_1 + 15 ab_2cd_1 \quad (3)$$

Tok postępowania przy projektowaniu wzmocnień nawierzchni:

1) Oblicza się wzorcową grubość istniejącej nawierzchni $h_{wzorcowa}$ ze wzoru zasadniczego (1), przyjmując wartości współczynników $b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = b_i = 1,0$ (wartości pozostałych współczynników przyjmuje się jak w przypadku projektowania nowych nawierzchni):

$$h_{wzorcowa} = 3 a + 15 acd_1 + 10 acd_2e + 5 d_2$$

(4)

Jeżeli dolna warstwa podbudowy istniejącej nawierzchni jest wykonana z gruntów stabilizowanych, drobnoziarnistego piasku lub innych materiałów, które chronią nawierzchnię przed zanieczyszczeniem podłoża, wtedy we wzorze (4) można pominąć element $5d_2$, ponieważ w tym przypadku $b_4 = 0$ (warstwa odcinająca jest niepotrzebna).

2) Oblicza się zastępczą grubość istniejącej nawierzchni $h_{zastępcza}$ jako sumę iloczynów średnich grubości warstw i równoważnych współczynników materiału $f = 1/b_i$:

$$h_{zastępcza} = h_1 1/b_1 1/b_2 + \sum h_2 1/b_2 + \sum h_3 1/b_3 \quad (5)$$

Wartości współczynników $1/b_2$ i $1/b_3$ dotyczące materiałów w bardzo dobrym i dobrym stanie oraz materiałów z odzysku (zużytych) przyjmuje się z tablicy [2].

3) Porównuje się grubość wzorcową $h_{wzorcowa}$ z grubością zastępczą nawierzchni istniejącej $h_{zastępcza}$.

Jeżeli $h_{wzorcowa} < h_{zastępcza}$, nie występuje potrzeba wzmocnienia nawierzchni.

Jeżeli $h_{wzorcowa} > h_{zastępcza}$, wzmocnienie nawierzchni jest niezbędne.

Przy projektowaniu wzmocnień należy uwzględnić nierówność [2]:

$$(h_{wzorcowa} - h_{zastępcza}) \leq h_1^{pr} 2/b_1 + h_2^{pr} 1/b_2 + h_3^{pr} 1/b_3 \quad (6)$$

w której: h_1^{pr} – projektowana grubość bitumicznej warstwy ścieralnej, b_1 – współczynnik zależny od rodzaju warstwy bitumicznej, jak we wzorze (1), 2 – wartość stała przypisana warstwie bitumicznej, h_2^{pr} – projektowana grubość górnej warstwy podbudowy, b_2 – współczynnik zależny od rodzaju materiału górnej warstwy podbudowy, h_3^{pr} – projektowana grubość dolnej warstwy podbudowy, b_3 – współczynnik zależny od rodzaju materiału dolnej warstwy podbudowy.

Jeżeli $(h_{wzorcowa} - h_{zastępcza}) \leq 12$ – wtedy do wzmocnienia istniejącej nawierzchni należy stosować mieszanki mineralno-bitumiczne.

Jeżeli $(h_{wzorcowa} - h_{zastępcza}) > 12$, to nawierzchnię należy wzmocniać: chudym betonem, kruszywem ulepszonym cementem lub kruszywem stabilizowanym mechanicznie.

Przykład projektowania wzmocnienia istniejącej nawierzchni

*Dane:

1) układ warstw – stan istniejący (rys. 1):

- warstwa jezdna z asfaltobetonu; grubość 1,5 cm; średnio spękana; wg tablicy [2] przyjęto $1/b_2 = 1,3$ i $1/b_3 = 1,9$;

- podbudowa grub. 24 cm, z tłuczni, $WP = 31$; wg tablicy [2] $1/b_2 = 0,6$ i $1/b_3 = 1,2$;

- warstwa odsączająca o grub. 5 cm piasku drobnego, $WP = 40$; wg tablicy [2] przyjęto $1/b_3 = 0,77$;

- podłoże (głina pylasta), $S_p = 0,35$, $w_n > w_{opt}$, zwierciadło wody gruntowej ok. 1,6 m poniżej niwelety drogi; wg tablic [] przyjęto $d_1 = 1,0$ oraz $d_2 = 2,0$;

2) istniejący ruch jest bardzo lekki, przewiduje się wzrost ruchu; wg [2] przyjęto $a = 1,5$;

3) max obciążenie osi samochodu $Q = 80$ kN, obliczone c ze wzoru wynosi: $c = 0,5 (P)^{0,5} = 0,5 (0,5 Q 10^{-1})^{0,5} = 1,0$;

4) głębokość przemarzania $h_z \leq 0,8$ m; przyjęto $e = 1,0$.

*Tok postępowania:

- obliczenie wzorcowej grubości nawierzchni wg wzoru (4): $h_{wzorcowa} = 67$ cm
- obliczenie grubości zastępczej, traktując wszystkie warstwy istniejącej nawierzchni jako dolną warstwę podbudowy (o grubości h_3):

$$h_{zastępcza} = \sum h_3 (1/b_3) = 1,5 \cdot 1,9 + 24 \cdot 1,2 + 5 \cdot 0,77 = 35 \text{ cm};$$

- porównuje się grubości konstrukcji jezdni $h_{wzorcowa}$ oraz $h_{zastępcza}$:

$$h_{wzorcowa} - h_{zastępcza} = 67 - 35 = 32 \text{ cm}.$$

Wniosek: nawierzchnię należy wzmocnić, ponieważ $h_{wzorcowa} > h_{zastępcza}$.

Przyjęto wzmocnienie układem dwóch warstw (rys. 2a, b) zaproponowane w dwóch wariantach:

- Wariant I: warstwa jezdna grub. 3,5 cm (beton asfaltowy, $b_1 = 1,0$), górna warstwa podbudowy grub. 18 cm (grunt stabilizowany cementem, wg tablic [2] przyjęto $1/b_2 = 1,43$)

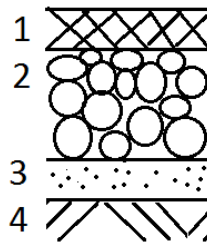
Sprawdzenie warunku (6):

$$(h_{wzorcowa} - h_{zastępcza}) = 32 \leq (h_1^{pr} / b_1 + h_2^{pr} / b_2) = (3,5 / 1,0 + 18 / 1,43) = 32,74 \text{ cm}$$

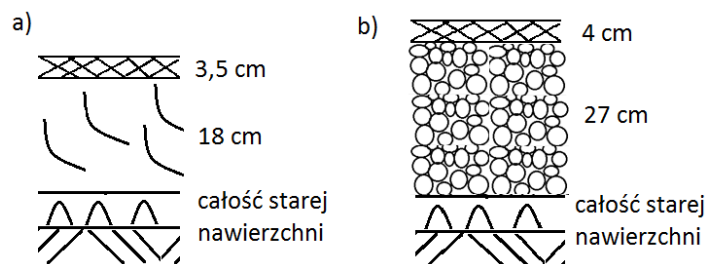
- Wariant II: warstwa jezdna grub. 4,0 cm (beton asfaltowy, $b_1 = 1,0$), górna warstwa podbudowy grub. 27 cm (kruszywo łamane niesortowane o ciągłym uziarnieniu, wg tablicy [1] przyjęto $1/b_2 = 0,9$)

Sprawdzenie warunku (6):

$$(h_{wzorcowa} - h_{zastępcza}) = 32 \leq (h_1^{pr} / b_1 + h_2^{pr} / b_2) = (4 / 1,0 + 27 / 0,9) = 32,3 \text{ cm}.$$



Rys. 1. Przekrój pionowy przez nawierzchnię (stan istniejący-dane do przykładu wzmocnienia) [2]:
1 - zniszczona warstwa jezdna z asfaltobetonu, 2 – podbudowa z tłucznią, 3 – warstwa filtracyjna (piasek drobny)



Rys. 2. Przekrój pionowy przez konstrukcję jezdni wzmocnioną [2]: a – wariant I wzmocnienia;
b – wariant II

3. PROJEKTOWANIE WZMOCNIEŃ NAWIERZCHNI według Katalogu [1]

W Katalogu [1] przedstawiono dwie metody projektowania wzmocnień nawierzchni asfaltowych: metodę ugięć i metodę mechanistyczną. Metodę pierwszą omówiono dość szczegółowo, natomiast drugą w zarysie ogólnym.

Metoda ugięć

1. Ogólna koncepcja metody ugięć

Metoda opiera się na założeniu, że trwałość nawierzchni asfaltowej jest zależna od maksymalnego ugięcia sprężystego nawierzchni, występującego bezpośrednio pod punktem obciążenia. Przyjmuje się, że dla określonego obciążenia ruchem istnieje takie ugięcie dopuszczalne, które zapewnia prawidłową pracę nawierzchni w ustalonym okresie obliczeniowym. Jeżeli ugięcie pomierzone (rzeczywiste) y_{rz} jest większe od dopuszczalnego $y_{rz} > y_{dop}$, to należy wykonać nakładkę o takiej grubości, aby otrzymać warunek $y_{rz} \leq y_{dop}$.

2. Ugięcie obliczeniowe

Ugięcie obliczeniowe U_{obl} jest to ugięcie sprężyste nawierzchni, przyjęte do projektowania grubości nakładki na danym odcinku jednorodnym drogi. Pomiaru ugięć sprężystych są wykonywane wg procedury opisanej w Katalogu [1]. Ugięcie obliczeniowe wyznacza się dla każdego odcinka jednorodnego wg wzoru:

$$U_{obl} = U_m f_T f_S f_P, \quad U_m = U_{\text{śred}} + 2 S_U \quad (7)$$

gdzie: U_m jest miarodajnym ugięciem sprężystym, f_T – współczynnik temperaturowy, f_S – współczynnik sezonowości, f_P – współczynnik podbudowy, $U_{\text{śred}}$ – średnie ugięcie sprężyste dla danego odcinka jednorodnego, S_U – odchylenie standardowe ugięć sprężystych dla danego odcinka jednorodnego.

3. Ruch całkowity w okresie obliczeniowym

Obciążenie drogi różnymi pojazdami powinno być przeliczone na obciążenie wyrażone liczbą osi obliczeniowych o nacisku 100 kN, na jeden pas ruchu. Należy obliczyć również ruch całkowity w okresie obliczeniowym. Metoda ustalenia ruchu obliczeniowego jest podana w Katalogu.

4. Określenie grubości zastępczej nakładki wzmacniającej

Grubość zastępcza nakładki wzmacniającej H_{zast} – grubość w przeliczeniu na tłużeń standardowy. Aby obliczyć wymaganą wartość H_{zast} należy określić:

- ugięcie obliczeniowe U_{obl} ,
- całkowity ruch w okresie obliczeniowym $N_{\text{całk}}$ wyrażony liczbą osi standardowych 100 kN na pas ruchu.

Wymaganą grubość zastępczą nakładki H_{zast} należy określić z dokładnością do 1 cm z nomogramu podanego w Katalogu Wzmocnień) [1].

5. Określenie rzeczywistej grubości nakładki wzmacniającej

Nakładka może być wykonana w dwojaki sposób:

- jako tylko nowe warstwy asfaltowe ułożone na istniejącej nawierzchni,
- jako nowe warstwy asfaltowe ułożone na nowej warstwie pośredniej niezwiązanej, zlokalizowanej na istniejącej nawierzchni.

Zależy to od wymaganej grubości nakładki i może być w dowolny sposób kształtowane przez projektanta, pod warunkiem zachowania zasad, podanych w katalogu [1].

6. Procedura postępowania:

6.1) oblicza się grubość zastępczą projektowanej nakładki $H_{\text{zastępcza,proj}}$ ze wzoru:

$$H_{\text{zastępcza,proj}} = a_1 h_1 + a_2 h_2 + \dots + a_n h_n \quad (8)$$

w którym: h_1, h_2, h_n – projektowana grubość poszczególnych warstw nakładki, a_1, a_2, a_n – współczynniki materiałowe poszczególnych warstw nakładki.

Współczynniki materiałowe mieszanek m-a mogą być oszacowane ze wzoru:

$$a_i = (E_i / 400)^{0,333} \quad (9)$$

w którym: a_i – współczynnik materiałowy i -tej warstwy, $i = 1, 2, \dots, n$, E_i – moduł sztywności (lub moduł sprężystości) i -tej warstwy.

6.2) odczytuje się z nomogramu [1] wymaganą grubość zastępczą nakładki $H_{zastepcza, wymagana}$

6.3) sprawdza się obowiązujący warunek: $H_{zastepcza, projektowana} \geq H_{zastepcza, wymagana}$

Metoda mechanistyczna

Idea metody jest oparta o analizę stanu naprężeń i odkształceń i o trwałość zmęczeniową (nośność) konstrukcji. Nawierzchnię traktuje się jak układ warstw charakteryzowanych: grubością h_i , modułem sztywności (sprężystości) E_i i współczynnikiem Poissona ν_i .

Procedura postępowania:

- 1) określenie stanu naprężeń i odkształceń w nawierzchni,
- 2) obliczenie trwałości zmęczeniowej N_f (na przykład ze wzoru The Asphalt Institute); trwałość zmęczeniowa N_f jest to liczba obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych na 20 % powierzchni jezdni,
- 3) porównanie obliczonej trwałości zmęczeniowej N_f z obliczonym prognozowanym ruchem całkowitym $N_c^{prognozowany}$. Wzmocnienie nawierzchni jest zaprojektowane prawidłowo, jeżeli trwałość zmęczeniowa $N_f > N_c^{prognozowany}$.

4. PODSUMOWANIE

W pierwszym kwartale każdego roku Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad publikuje raport o stanie technicznym nawierzchni sieci dróg krajowych na podstawie analizy odpowiednich danych. Dane zbierane na podstawie prowadzonych systematycznie pomiarów cech techniczno-eksploatacyjnych nawierzchni w ramach: Systemu Oceny Stanu Nawierzchni asfaltowych (SOSN) i Systemu Oceny Stanu Nawierzchni Betonowych (SOSN-B). Systemami SOSN i SOSN-B są objęte drogi krajowe i w niektórych przypadkach (z uwagi na układ geometryczny i warunki ruchowe) odcinki sieci miejskiej. Łącznie pomiarami objęta jest sieć drogowa o długości ok. 18 tys. km. Rezultatem analizy danych jest między innymi:

- klasyfikacja nawierzchni dróg według ocen: dobry, niezadawalający i zły,
- procentowy rozkład ocen stanu nawierzchni dróg na przestrzeni ostatnich 10 lat.
- kwalifikacja dróg wymagających natychmiastowego remontu lub wzmocnienia.

BIBLIOGRAFIA

[1] Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. IBDiM, GDDP, Warszawa 2001

[2] Rolla S.; Budowa dróg, t. 3. WKŁ, Warszawa 1999.

[3] Surowiecki A.; Czy polskie drogi mogą być lepsze. Dolnośląski Festiwal Nauki (wykład okolicznościowy), Wrocław, IX. 2009.

[4] Surowiecki A.; Metody projektowania konstrukcji nawierzchni drogowych. Dolnośląski Festiwal Nauki (wykład okolicznościowy), Wrocław, IX. 2010.

Článok recenzoval:
prof. Ing. Zdeněk Dvořák, PhD.

