

Wpływ geosyntetycznego zbrojenia na wydłużenie czasu użytkowania nawierzchni drogowych

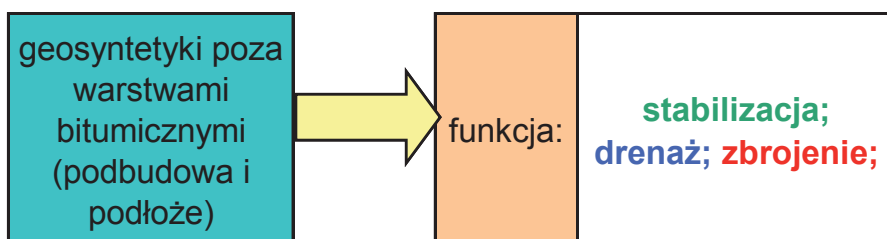
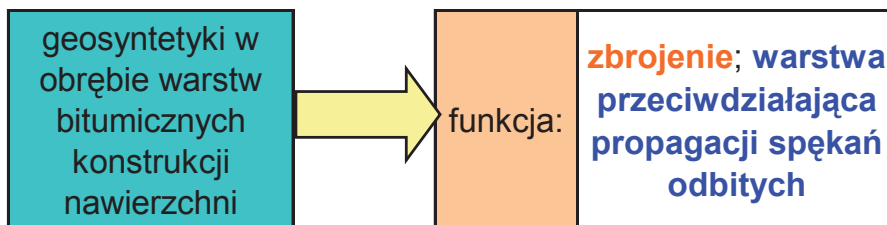
Krystyna Kazimierowicz-Frankowska

Celem przeprowadzonych badań było rozpoznanie wpływu geosyntetycznego zbrojenia na wielkość deformacji strukturalnych powstających w nawierzchniach drogowych pod wpływem działania obciążeń od ruchu drogowego. Założono, że pojedyncza warstwa zbrojenia jest umieszczona w obrębie warstw bitumicznych, powyżej istniejącego pęknięcia w konstrukcji nawierzchni. Zastosowano wybrany model zagęszczania się gruntów pod wpływem obciążeń cyklicznych w celu porównania maksymalnych osiadań powstających w niezbrojonych i zbrojonych konstrukcjach nawierzchni. Zbadano wpływ zmian wartości parametrów materiałów użytych do budowy nawierzchni oraz podłoża gruntowego na wielkość deformacji. Otrzymane wyniki zestawiono w artykule.

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW data zgłoszenia do redakcji: 16.05.2012 data akceptacji do druku: 18.06.2012



dr inż.
Krystyna Kazimierowicz-
Frankowska
Instytut Budownictwa
Wodnego PAN, Gdańsk-
Oliwa
krystyna@ibwpan.gda.pl

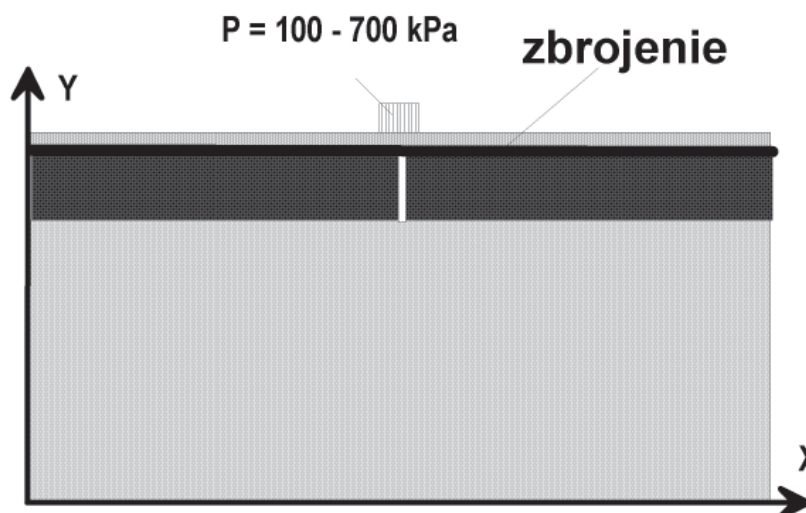


Geosyntetyki są powszechnie stosowane w drogownictwie od połowy lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku [1]. Obecnie spotkać je można zarówno w obrębie wszystkich warstw nawierzchni, jak i w podłożu gruntowym, gdzie pełnią różne funkcje (rysunek 1).

Jednym z poważniejszych problemów występujących w drogownictwie jest zjawisko spękań w bitumicznych warstwach konstrukcji nawierzchni drogowych. Wyróżnić można dwie podstawowe przyczyny rozwoju pęknięć. Pierwszą stanowią poziome ruchy spękaną warstwy wywołane dziennymi oraz sezonowymi zmianami temperatury. Drugą zaś - oddziaływania kół pojazdów przemieszczających się nad istniejącymi szczelinami. Jak pokazują wyniki badań wokół istniejącego pęknięcia [2, 3] dochodzi do niekorzystnej koncentracji naprężeń rozciągających, co w konsekwencji wcześniej lub później skutkuje dalszą jego propagacją w obrębie konstrukcji nawierzchni.

Aby opóźnić proces rozwoju pęknięć stosuje się różne metody, między innymi wykorzystuje się w tym celu coraz częściej geosyntetyki. Technologia użycia geosyntetyków w przypadku renowacji lub wzmocnienia nawierzchni polega na ułożeniu na istniejącej konstrukcji warstwy geosyntetyku i przykryciu go nową warstwą bitumiczną.

1. Funkcje geosyntetyków w zależności od miejsca występowania w konstrukcji nawierzchni drogowych



2. Schemat analizowanej konstrukcji nawierzchni

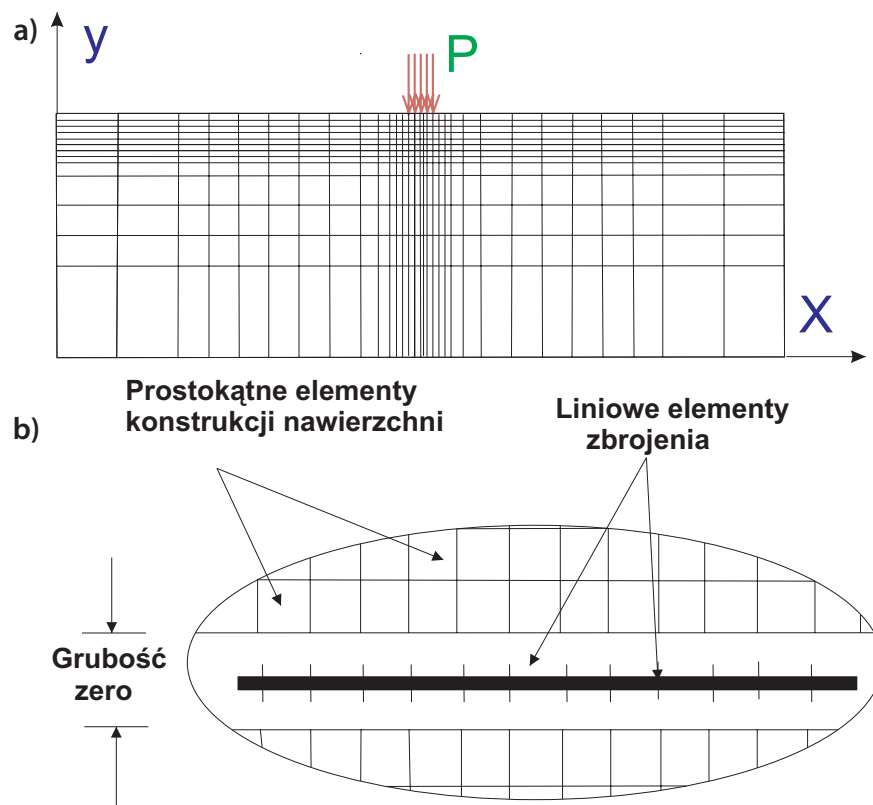
W przypadku budowy nowych nawierzchni geosyntezyk umieszcza się na podbudowie, w której mogą wystąpić spękania lub różnego typu nieciągłości i całość przykrywa górnymi warstwami bitumicznymi. Właściwie zaprojektowana i wykonana (ważne jest zapewnienie właściwych warunków na styku: geosyntezyk – sąsiadujące warstwy nawierzchni) warstwa geosyntetycznego wzmocnienia wydłuża dopuszczalny czas użytkowania nawierzchni. Zapewnia bardziej równomierne rozłożenie obciążeń od ruchu drogowego, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia wartości naprężeń występujących wokół szczeliny w konstrukcji nawierzchni.

Nawierzchnie drogowe muszą być tak zaprojektowane, by stany graniczne nośności i przydatności do użytkowania nie były przekroczone w okresie ich eksploatacji. Stan graniczny nośności uważa się za przekroczony, jeśli wartość modułu sztywności nawierzchni asfaltowej spadnie poniżej 50% wartości początkowej lub w nawierzchni wystąpią spękania zmęczeniowe zajmujące nie mniej niż 20% jej powierzchni i/lub trwałe deformacje strukturalne o głębokości nie mniejszej niż 12,5 mm. W przypadku nawierzchni podatnych przyjmuje się, że jej uszkodzenie wystąpi, gdy zostanie wyczerpana trwałość zmęczeniowa dolnej warstwy asfaltowej i/lub deformacje trwałe nawierzchni przekroczą 12,5 mm. W przypadku projektowania konstrukcji nawierzchni półsztywnych dodatkowo należy sprawdzić kryterium uszkodzeń zmęczeniowych podbudów związanych spoiwem hydraulicznym.

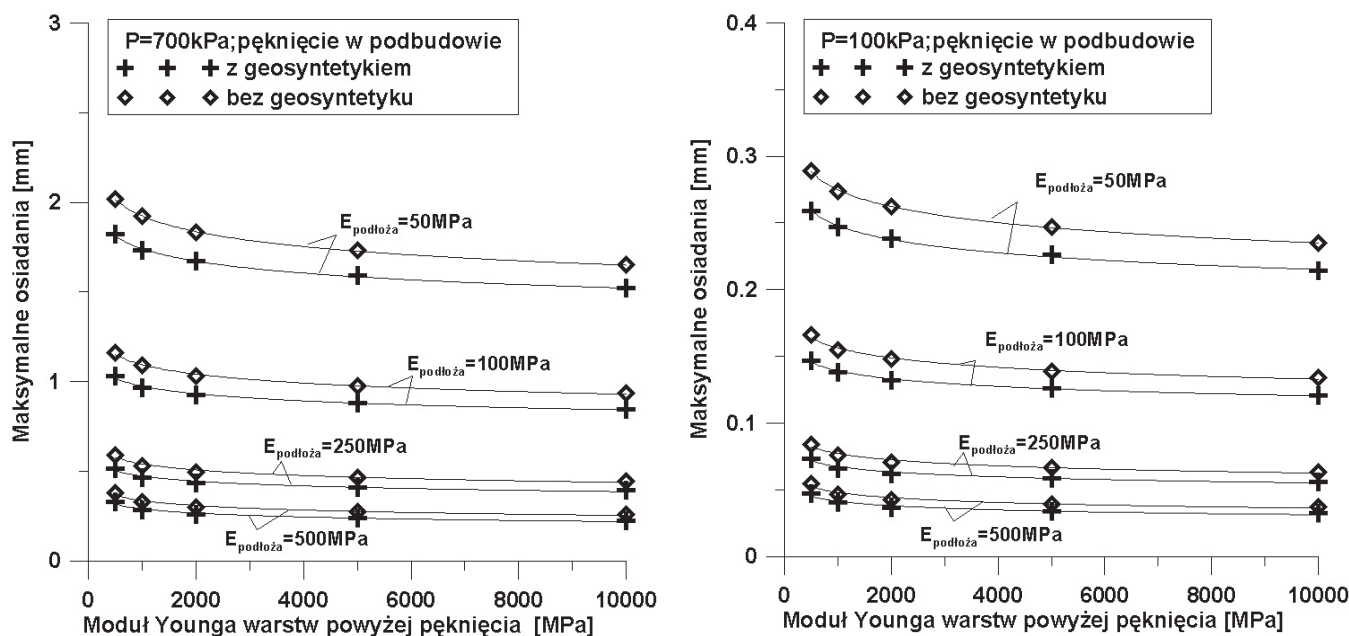
Celem niniejszego artykułu jest przeanalizowanie wpływu umieszczenia warstwy geosyntezyku powyżej pęknięcia w konstrukcji nawierzchni na wartości maksymal-

Tab.1: Podstawowe parametry konstrukcji nawierzchni

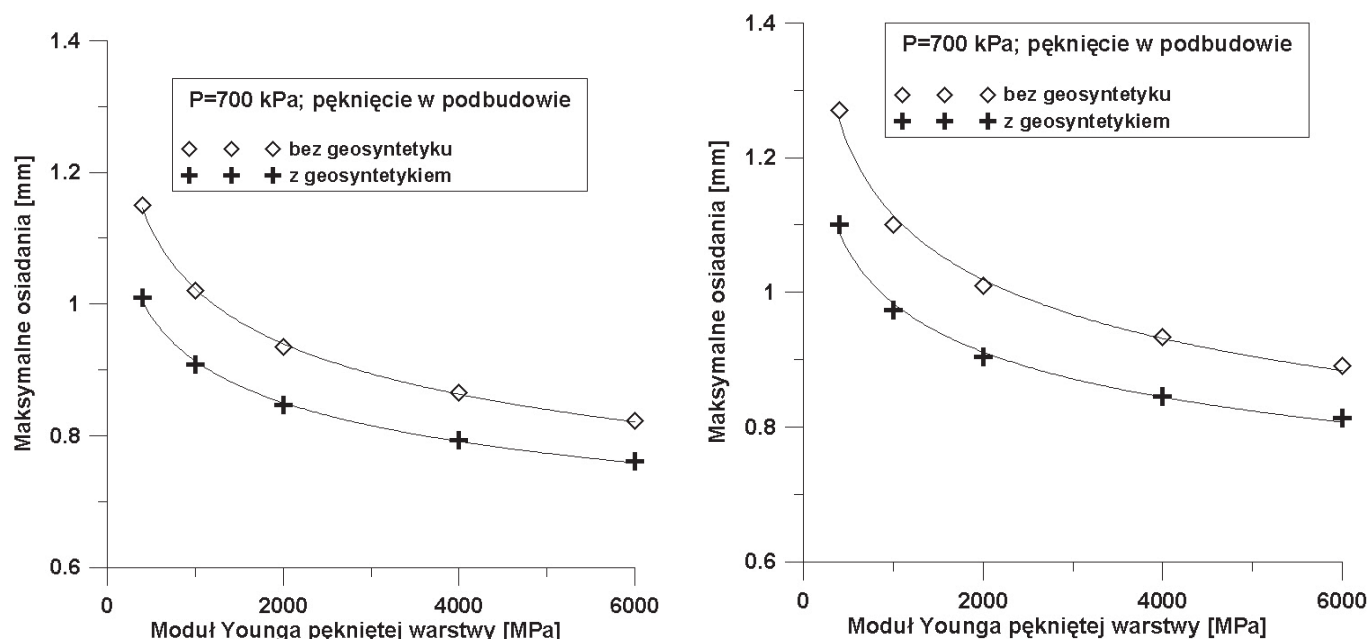
Materiał	Moduł E (MPa)	Współczynnik Poissona	Grubość (mm)
Warstwy bitumiczne	500-10000	0,36	100-200
Podbudowa	500-6000	0,35	300
Podłoże	50-1000	0,3	1500



3. Schemat przyjętej siatki elementów skończonych (a) i sposób modelowania pracy geosyntezyku (b)



4. Wpływ warstwy geosyntezyku na osiadania nawierzchni posadowionych na podłożach o różnym module Younga



5. Wpływ parametrów pękniętej warstwy na maksymalne osiadania nawierzchni. Dwie różne wartości modułu Younga warstw bitumicznych powyżej pęknięcia: a) 10000 MPa i b) 3000 MPa

nych deformacji strukturalnych występujących na skutek obciążeń od ruchu pojazdów.

Sformułowanie problemu

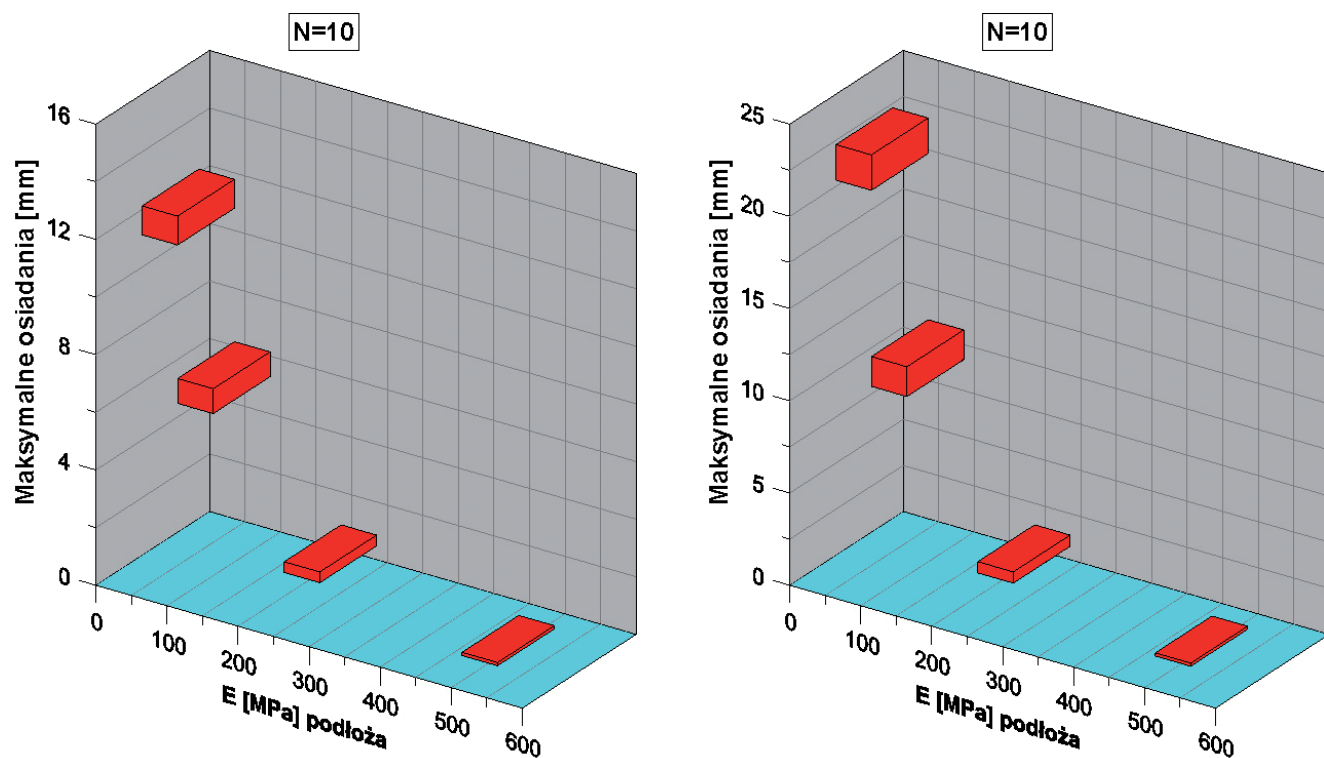
Obliczenia wykonano dla typowej nawierzchni drogowej (rysunek 2) posadowionej na naturalnym podłożu gruntowym. Przyjęto, że poszczególne warstwy konstrukcji nawierzchni są jednorodne.

Podczas pierwszego cyklu obciążenia wykazują właściwości sprężyste, scharak-

teryzowane poprzez wartości modułów sprężystości i współczynników Poissona. Jako zbrojenie zastosowano geosiatkę (materiał sprężysty). Założono, że grubość zbrojenia jest pomijalnie mała w porównaniu z grubościami warstw nawierzchni. Rozważono przypadek obciążenia nawierzchni pochodzącego od pojedynczego koła pojazdu o szerokości $d=0,2$ m i o intensywności obciążenia $q=700$ kPa (dodatkowe obliczenia wykonano dla przypadku $q=100$ kPa). Założono, że pod wpływem kolejnych cykli

obciążenia, podłoże gruntowe zagęszcza się, zgodnie z przyjętym prawem zagęszczania się gruntów pod wpływem obciążeń cyklicznych [4]. Wyodrębniono trzy etapy pracy układu nawierzchnia – podłoże:

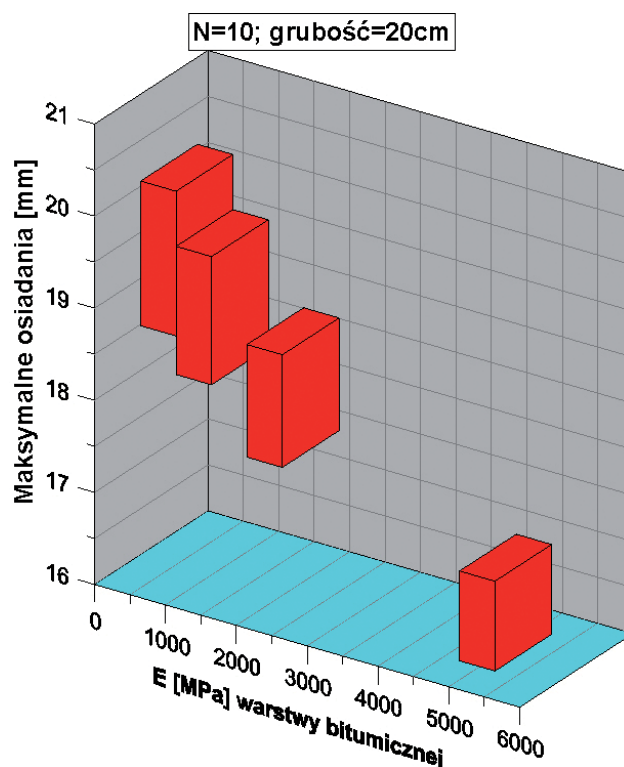
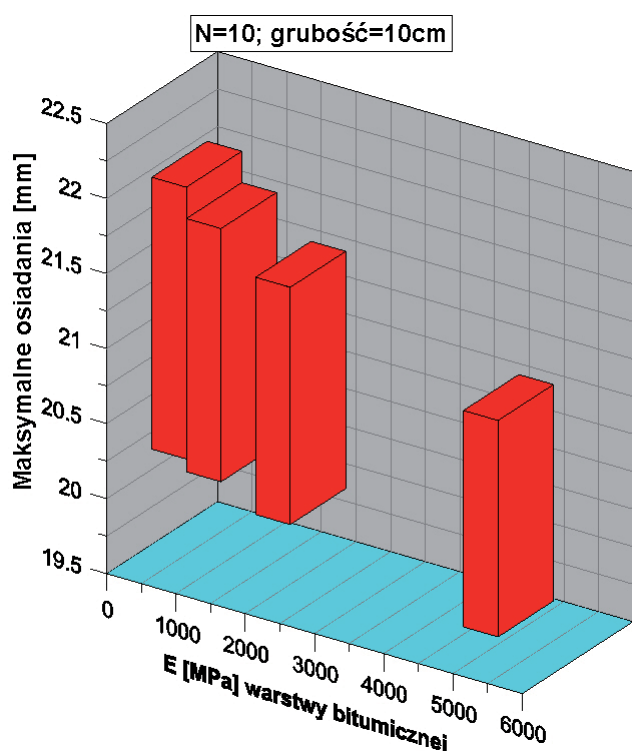
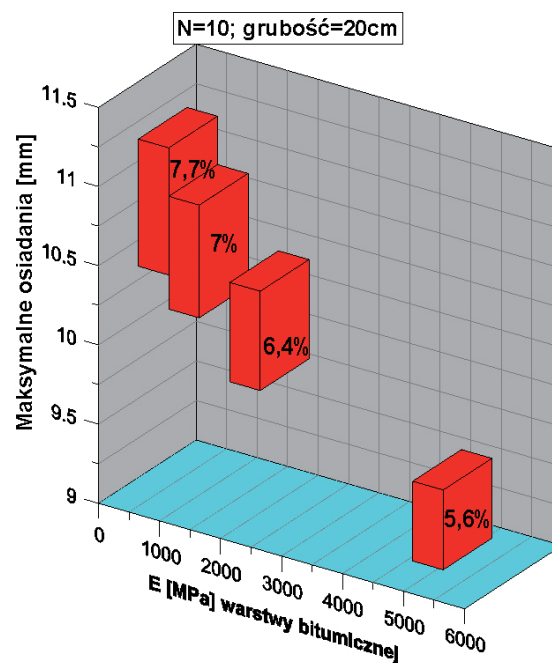
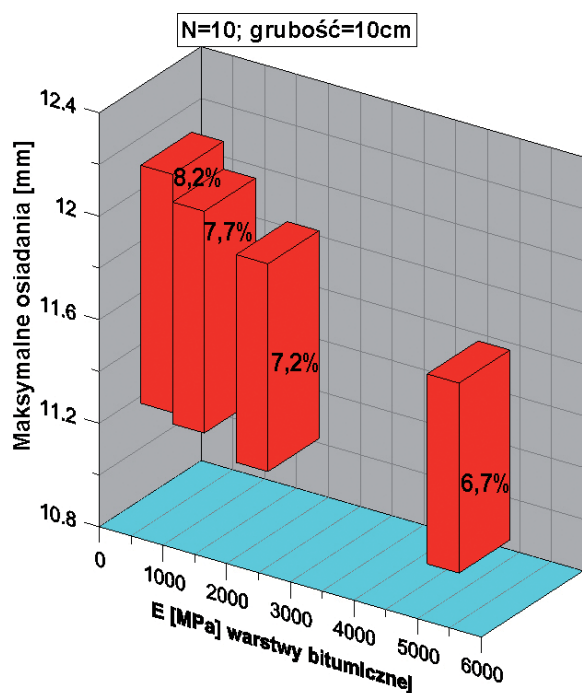
- konstrukcja nawierzchni bez pęknięć – geosyntetyk umieszczony pomiędzy podbudową, a wierzchnią warstwą bitumiczną,
- konstrukcja nawierzchni z pęknięciem (o szerokości 0,01 m) w warstwie podbudowy – geosyntetyk ułożony pomiędzy



6. Wpływ warstwy zbrojenia na maksymalne wartości deformacji strukturalnych nawierzchni

Tab.2: Charakterystyki zagęszczenia podłoża

Początkowe zagęszczenie	$e_{\max}$	$e_{\min}$	D1	D2
zagęszczony	0,84	0,52	4,87	0,19
średnio zagęszczony	0,84	0,52	6,04	0,11



7. Porównanie maksymalnych osiadań nawierzchni z warstwą geosyntetyku i bez niej.
Grunt podłoża: zagęszczony (a) i średnio zagęszczony (b). Dwie różne grubości warstw bitumicznych

pękniętą podbudowę, a górną warstwą bitumiczną,

- konstrukcja nawierzchni z pękniętą warstwą podbudowy i propagacją pęknięcia w obrębie wierzchniej warstwy bitumicznej – zbrojenie umieszczono w połowie grubości warstwy bitumicznej – bezpośrednio powyżej pęknięcia.

Badano wpływ zmian wartości parametrów konstrukcji nawierzchni (tabela 1) na wielkość jej osiadań. W niniejszej pracy przedstawiono wybrane wyniki dotyczące analizy 2 etapu pracy nawierzchni (pęknięcie w podbudowie).

Deformacje strukturalne nawierzchni po pojedynczym cyklu obciążenia

Do obliczeń zastosowano metodę elementów skończonych. Do dyskretyzacji obszaru warstw w modelu nawierzchni drogowej użyto płaskich ośmiowęzłowych elementów izoparametrycznych (rysunek 3). Dokonano zagęszczenia siatki MES w strefie wokół szczeliny w konstrukcji nawierzchni, w obszarze występowania spodziewanej koncentracji naprężeń. Do modelowania zbrojenia użyto jednowymiarowych elementów trójwęzłowych, zaś sześciowęzłowe elementy kontaktowe wykorzystano do modelowania kontaktu geosyntetyku z otaczającymi warstwami (rysunek 3b). Do obliczeń przyjęto następujące parametry zbrojenia: (za [5]): $E_g = 2,0 \times 10^{11}$ Pa (moduł sztywności siatki) oraz $A_g = 180$ mm² (pole przekroju poprzecznego geosiatki przypadające na mb). W trakcie obliczeń zmieniano parametry warstwy bitumicznej (jej grubość: 0,1 m, 0,2 m i moduł Younga: 500 10000 MPa), warstwy podbudowy ($E = 250$ 6000 MPa) i podłoża ($E = 50$ 500 MPa). Badano wpływ zmian wartości tych parametrów na osiadania nawierzchni.

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki porównania maksymalnych osiadań występujących w konstrukcjach nawierzchni w funkcji wartości modułu sztywności warstw znajdujących się powyżej pęknięcia w konstrukcji nawierzchni. Wykonano je dla nawierzchni charakteryzującej się podbudową, której moduł sztywności wynosił 2000 MPa i 10 cm grubością warstw bitumicznych powyżej pęknięcia.

Widoczny jest spadek maksymalnych osiadań po zastosowaniu geosyntetyku, który jest tym większy, im słabsze jest podłoże gruntowe, na którym posadowiono nawierzchnię. Zmiana wartości działającego obciążenia ma wpływ na wielkość osiadań, ale charakter jakościowy przebiegu krzywych na rysunku 4 pozostaje ten sam. Wpływ parametrów pękniętej podbudowy na maksymalne osiadania nawierzchni pokazano na rysunku 5.

Przyrost deformacji strukturalnych nawierzchni pod wpływem obciążeń od ruchu pojazdów

Do obliczania osiadań nawierzchni drogowych występujących wskutek zagęszczania podłoża wywołanego ruchem pojazdów wykorzystano model zagęszczenia się gruntów pod wpływem obciążeń cyklicznych opracowany w IBW PAN [4]. Zgodnie z prawem zagęszczenia (1):

$$\frac{d\Phi}{dN} = D_1 J \exp(-D_2 \Phi), \quad (1)$$

gdzie N oznacza liczbę cykli obciążenia; D_1 i D_2 są to współczynniki charakteryzujące dane podłoże gruntowe, J to drugi niezmiennik dewiatora odkształcenia wyrażony wzorem:

$$J = \frac{1}{3} [(E_x - E_y)^2 + E_x E_y] + E_{xy}^2, \quad (2)$$

gdzie E_x , E_y , E_{xy} oznaczają odpowiednie składowe tensora odkształcenia.

Całkowite osiadanie słupa gruntu (S) można obliczyć przy użyciu wzoru:

$$S = \frac{n_0}{1 - n_0} \frac{h_1 + h_2 + h_3}{h_1 + h_2} \Phi dy, \quad (3)$$

gdzie n_0 oznacza porowatość początkową gruntu wykorzystanego jako podłoże, zaś h_1 , h_2 , h_3 są to grubości warstw: bitumicznej, podbudowy i podłoża. Obliczenia wykonano dla podłoża o parametrach zestawionych w tabeli 2.

Wpływ wartości modułu Younga podłoża na maksymalne osiadania niezbrojonych i zbrojonych konstrukcji nawierzchni ($E_{\text{podbudowy}} = 6000$ MPa; $E_{\text{bitum}} = 10000$ MPa; grubość warstw nad pęknięciem = 20 cm) po 10 cyklach obciążeń ($q = 700$ kPa) przedstawiono na rysunku 6. Na Rysunku 7 pokazano maksymalne wartości deformacji strukturalnych konstrukcji nawierzchni z pęknięciem w podbudowie ($E_{\text{podbudowy}} = 2000$ MPa, $E_{\text{podłoża}} = 50$ MPa) po 10 cyklach obciążenia ($q = 700$ kPa). Obliczenia wykonano dla zmiennej wartości modułu sztywności warstw bitumicznych powyżej pęknięcia ($E = 500$ 5000 MPa) i dla różnych początkowych zagęszczeń gruntu podłoża. Na rysunkach 6-7 zestawiono wyniki uzyskane dla dwóch różnych początkowych zagęszczeń gruntu podłoża. Jak widać niedokładności w zagęszczeniu podłoża mogą skutkować istotnym wzrostem deformacji. Odnotowano nawet dwukrotny wzrost osiadań w przypadku zastosowania gruntu średnio zagęszczonego (zamiast zagęszczonego) – dla $E_{\text{podłoża}} = 50$ MPa.

Zmniejszenie deformacji strukturalnych nawierzchni drogowych po wprowadzeniu warstwy geosyntetyku

Korzyści związane z zastosowaniem geosyntetyku w celu wzmocnienia konstrukcji nawierzchni, często są definiowane przy użyciu specjalnego współczynnika, który wyraża zależność pomiędzy liczbą cykli obciążenia, którą można przyłożyć do wzmocnionej i niewzmocnionej nawierzchni w celu wywołania tej samej wielkości deformacji. W przypadku analizy wyników przeprowadzonych symulacji numerycznych zastosowano współczynnik:

$$IR = \frac{N_f^R - N_f^{NR}}{N_f^{NR}} \cdot 100, \quad (4)$$

w którym:

N_f^R - oznacza liczbę cykli obciążenia, którą można przyłożyć do powierzchni nawierzchni z geosyntetykiem do osiągnięcia maksymalnej założonej wartości deformacji;

N_f^{NR} - oznacza liczbę cykli obciążenia, którą można przyłożyć do powierzchni nawierzchni bez warstwy geosyntetyku do osiągnięcia maksymalnej założonej wartości deformacji.

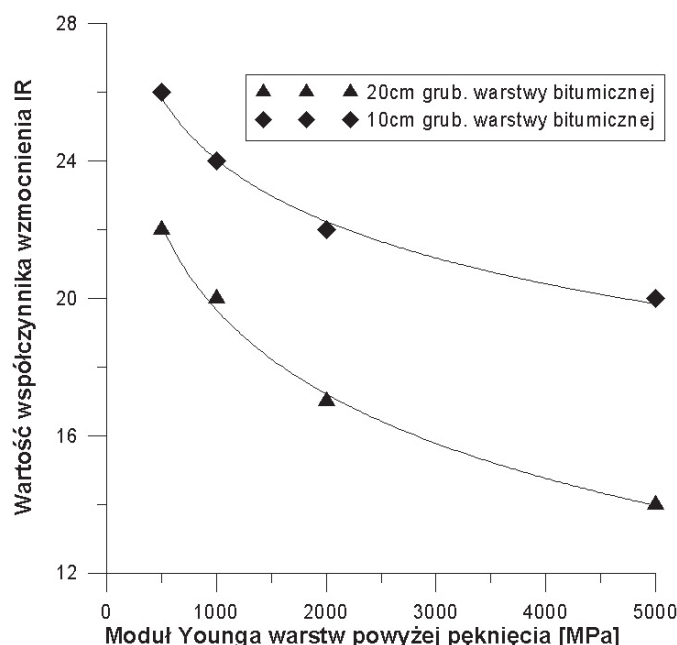
Na rysunku 8 pokazano wartości współczynników wzmocnienia uzyskane dla dwóch różnych grubości warstw bitumicznych powyżej pęknięcia w konstrukcji nawierzchni. Obliczono liczbę cykli obciążenia niezbędną do uzyskania maksymalnych deformacji strukturalnych wynoszących 0,025 m. Większe wartości współczynników wzmocnienia uzyskano dla cieńszej warstwy bitumicznej.

Wnioski

Wykonano serie obliczeń numerycznych, których celem było porównanie maksymalnych osiadań występujących w nawierzchniach tradycyjnych oraz wzmocnionych warstwą geosyntetyku. Analizowano maksymalne deformacje strukturalne występujące pod wpływem obciążenia od ruchu drogowego. Stwierdzono, że umieszczenie warstwy zbrojenia wzmocnia konstrukcję nawierzchni (zmniejsza jej osiadania) we wszystkich trzech wyodrębnionych etapach jej pracy (nawierzchnia z pęknięciem w konstrukcji i bez niego). Najistotniejszy spadek deformacji zaobserwowano w przypadku umieszczenia geosyntetyku powyżej istniejącego pęknięcia w konstrukcji nawierzchni i tej kwestii poświęcono niniejszy artykuł.

Wyniki wykonanych obliczeń wskazują, że zastosowanie warstwy zbrojenia powyżej pęknięcia zmienia wielkość i rozkład naprężeń oraz odkształcenia nawierzchni występujące pod wpływem obciążeń od ruchu drogowego. Stwierdzono, że odkształcenia

mają mniejsze wartości i są bardziej równomiernie rozłożone na większej powierzchni. Redukcja osiadań zależy zarówno od parametrów nawierzchni drogowej (większa w przypadku cieńszej warstwy bitumicznej), jak i parametrów podłoża, na którym jest posadowiona. Efektywność wzmocnienia jest tym większa, im słabsze jest podłoże nawierzchni drogowej. Po wprowadzeniu zbrojenia wydłuża się dopuszczalny czas użytkowania drogi mierzony liczbą przejazdów kół pojazdów nad pęknięciem do czasu przekroczenia założonej maksymalnej deformacji (od około 15 do 40%). Porównano deformacje strukturalne konstrukcji posadowionych na zagęszczonym i średniozagęszczonym gruncie podłoża. Stwierdzono, że w tym drugim przypadku deformacje strukturalne mogą być nawet dwukrotnie większe. ◀



8. Porównanie wartości współczynników wzmocnienia uzyskanych po wprowadzeniu zbrojenia. Obliczenia wykonano dla różnych grubości warstw bitumicznych powyżej pęknięcia w konstrukcji

Materiały źródłowe

- [1] Kazimierowicz-Frankowska K.: Wzmacnianie nawierzchni drogowych przy użyciu geosyntetyków – mechanizmy pracy zbrojenia; czynniki decydujące o efektywności wzmocnienia, IBW PAN, 2012, w przygotowaniu do druku
- [2] Kazimierowicz-Frankowska K.: Osiadanie nawierzchni drogowej wskutek zagęszczenia podłoża wywołanego ruchem pojazdów. W: Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych. Red. Eugeniusz Dembicki, Maciej Kumor, Zbigniew Lechowicz, Bydgoszcz: Wydawnictwa Uczelniane UTP, 2009, s. 531-537
- [3] Kazimierowicz-Frankowska K.: Comparison of stress and strain states in pavements with and without reflective cracks. Journal of Transportation Engineering, 2008, Vol.134, No.11, s.483-492
- [4] Sawicki A.: Mechanika gruntów dla obciążeń cyklicznych, Wydawnictwo Instytutu Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk, 1991, 189 stron.
- [5] Bergado, D.T. & Teerawattanasuk, C. 2D and 3D numerical simulations of reinforced embankments of soft ground. Geotextiles and Geomembranes, 2008, Vol. 26, No.1, s.39-55.

**Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej,
Urząd Miasta Wrocławia,**

Redakcja Przeglądu Komunikacyjnego

zapraszają na Konferencję

**„Nowe Koleje 2012:
Wrocław, Dolny Śląsk, Europa”**

która odbędzie się 2 października 2012 na terenie kampusu Politechniki

pod honorowym patronatem:

Senatora RP Jarosława Obremskiego,

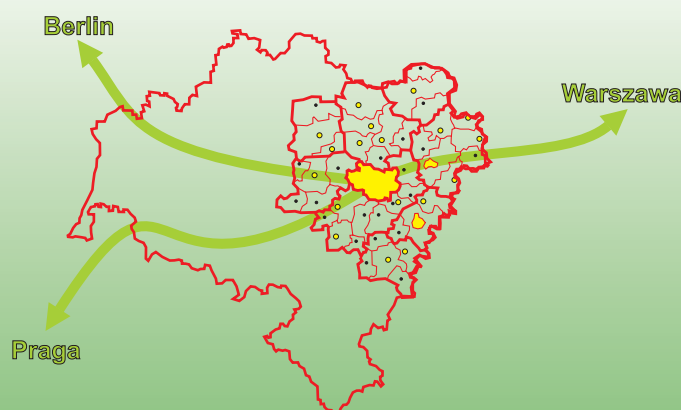
Prezydenta Wrocławia Rafała Dutkiewicza,

JM Rektora Politechniki Wrocławskiej Tadeusza Więckowskiego.

Udział w Konferencji jest bezpłatny po dokonaniu rejestracji
(szczegóły na stronie: przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl/nk2012)

Tematyka Konferencji zamknięta zostanie w trzech działach:

- Kolej w Aglomeracji Wrocławskiej
- Nowe i modernizowane połączenia Województwa Dolnośląskiego
- Usprawnienie połączeń kolejowych Wrocławia i Dolnego Śląska do trzech Stolic: Warszawy, Pragi i Berlina



Na Konferencję zostanie przygotowany numer Przeglądu Komunikacyjnego zawierający wybrane referaty konferencyjne.

Zapraszamy do przesyłania artykułów związanych z tematyką Konferencji. Terminy oraz zasady przygotowania referatów znajdują się na stronie: przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl/nk2012