ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995
Seria: BUDOWNICTWO z. 81 Nr kol. 1292

Krzysztof CHLIPALSKI, Barbara STRYCHARZ, Anna ŻAK

METODY BADAŃ MATERIAŁÓW DROGOWYCH W WARUNKACH SYMULOWANYCH DEFORMACJI GÓRNICZYCH

Streszczenie. Odmienne warunki pracy nawierzchni drogowych na terenach deformowanych wpływami podziemnej eksploatacji górniczej kopalin wymusiły podjęcie badań w celu określenia rozwiązań materiałowych i technologicznych dla tych warunków. Omówiono kryteria wyboru i przyjęte przez autorów metody badań.

METHODS OF STUDYING ROAD BUILDING MATERIALS UNDER CONDITIONS OF SIMULATED MINING DISTORTIONS

Summary. Different working conditions of road surfaces in areas distorted by the effects of underground coal mining activity have forced studies of building materials and technological solutions suitable for these conditions. Criteria of selecting and adapting study methods are discussed by the authors.

MÉTHODE D'ESSAIS DES MATÉRIAUX DE CHAUSSÉE DANS LES CONDITIONS DE DÉFORMATIONS SIMULÉES MINIERES

Résumé. Les conditions de travail différentes des chaussés sur les terrains déformés par les influences de l'exploatation miniére souterraine des minéraux obligent a commencer les essais pour préciser les solutions de matiére et technologie pour ces conditions. On présente les criteres de choix et les méthodes d'essais adaptées par les auteurs.

1. WSTĘP

Według danych Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych liczba osób przypadających w Polsce na samochód gwałtownie zmalała (z 31 w 1975 roku do 7 osób w 1990 r.) [15]. Tak duży przyrost obciążenia ruchem spowodował, że wiele dróg jest eksploatowanych w innych

warunkach niż te, jakie zakładano przy ich budowie. Szczególnie niekorzystna sytuacja występuje na sieci dróg Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, gdzie dodatkowo występuje problem uszkodzeń nawierzchni powstających w wyniku eksploatacji górniczej. Nastąpiło tu poważne pogorszenie stanu nawierzchni dróg w postaci spękań lub rozerwań nawierzchni, sfalowań, garbów, progów itp.

Przytoczone powyżej dane GDDP świadczą o konieczności budowy nowych dróg i modernizacji już istniejących, przystosowując je do przenoszenia nowych obciążeń, w tym dodatkowych od wpływu deformacji górniczej podłoża.

Dróg przebiegających przez tereny eksploatowane górniczo jest wiele, a dotychczas nie uwzględnia się wpływu deformacji górniczej podłoża w projektowaniu i wykonaniu konstrukcji nawierzchni. Powoduje to obniżenie wymaganej trwałości i wzrost kosztów ich utrzymania. W związku z tym ważnym problemem jest opracowanie metod i technologii, wzmacniania podłoża i nawierzchni dróg odpornych na wpływy górniczej eksploatacji.

2. UZASADNIENIE PRZYJĘTYCH METOD BADAŃ

Rozwój ruchu drogowego powoduje wzrost wymagań dotyczących właściwości eksploatacyjnych i trwałości mieszanek mineralno-asfaltowych, głównego budulca nawierzchni drogowych.

Problemom oceny trwałości nawierzchni, a w szczególności mas mineralno-asfaltowych, były poświęcone studia teoretyczne i prace doświadczalne programu SHRP (Strategic Highway Research Program). Project A-003A "Performance-Related Testing and Measuring of Asphalt-Aggregate Interactions and Mixtures realizowano w USA od 30 listopada 1988 roku pod kierownictwem Instytutu Badań Transportowych (Institute of Transportation Study - ITS) Uniwersytetu Kalifornijskiego. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych w Warszawie ma stały kontakt z Komitetem Wykonawczym SHRP.

W ramach zakończonego w styczniu 1993 r. programu SHRP dokonano analizy porównawczej istniejących metod badań pod względem ich przydatności do oceny testowanego materiału nawierzchni drogowej [8, 9]. Metody badań klasyfikowano biorąc za podstawę następujące kryteria:

a) symulację warunków polowych,

b) użyteczność wyników badań,

c) łatwość wykonania badań.

Pojęcie symulacji warunków polowych było definiowane zgodnie z odpowiedziami na trzy pytania:

1) Do jakiego stopnia warunki badania (próbka, obciążenie) odpowiadają warunkom in situ?
2) Do jakiego poziomu wartości parametrów mierzonych podczas badań są wiarygodne dla szerokiego zakresu temperatur?
3) Czy wartości częstotliwości przykładanych obciążeń, długość przerw między impulsami są zbieżne z rzeczywistymi warunkami ruchu na drodze?

Oceniając łatwość wykonania badań zwracano uwagę na następujące aspekty:

a) złożoność potrzebnego sprzętu badawczego,

b) możliwość użycia tego samego sprzętu badawczego w innych badaniach,

c) rozmiary, ciężar i liczbę próbek badawczych,

d) liczbę badanych parametrów w danej próbie laboratoryjnej koniecznych przy projektowaniu mieszanek mineralno-astaltowych i przy przeprowadzaniu analiz strukturalnych,

e) czy dane pomiary mogłyby być zrealizowane za pomocą tylko jednego zestawu aparatury badawczej, czy też wymagają różnych zestawów sprzętu laboratoryjnego?

Użyteczność wyników badań oceniono na podstawie możliwości ich zastosowania w projektowaniu mieszanek mineralno-bitumicznych lub projektowaniu konstrukcji nawierzchni z udziałem trwałości zmęczeniowej jako parametru optymalizującego. Sumaryczne zestawienie zalet, wad i ograniczeń poszczególnych metod badawczych przedstawiono w tablicy 1. W kolumnach 6, 7 podano ocenę w stopniach od 1 (najlepszy) do 10 (najgorszy).

Najwyższe oceny za kryterium symulacji warunków polowych uzyskały badania w laboratoryjnym symulatorze ruchu oraz badania w warunkach polowych na torze doświadczalnym (tablica 1 - IX, X).

Dotychczas stosowane powszechnie w Polsce badanie stabilności wg Marshalla nie zostało objęte oceną programu SHRP jako już niewystarczające.

Powyższa ocena SHRP zainspirowała autorów do wykonania prototypowego stanowiska badawczego w skali 1:1, do testowania modyfikowanych mas mineralno-bitumicznych i geosyntetyków w warunkach symulowanych deformacji górniczych podłoża.

Tablica 1

Porównanie metod badawczych

Lp.	Metoda badawcza	Użyteczność wyników badawczych	Zalety	Wady i ograniczenia	Symulacja warunków polowych	Łatwość wykonania badań
1	2	3	4	5	6	7
I	Badanie wielokrotnego zginania	Tak σ_b lub ε_b S_{max}	1.Badanie dobrze znane, szeroko rozpowszechnione. 2.Podstawowa technika badawcza może być użyta do różnych badań. 3.Wyniki badań mogą być użyte bezpośrednio w projektowaniu. 4.Możliwość prowadzenia badań przy kontrolowanym naprężeniu lub odkształceniu	Badanie kosztowne, pracochłonne, niezbędny specjalistyczny sprzęt badawczy	4	4
II	Badanie bezpośredniego rozciągania	Tak (poprzez współzależności) σ_b lub ε_b S_{max}	1.Potrzeba przeprowadzenia badań trwałości zmęczeniowej nie jest konieczna. 2.Istnieje korelacja z wynikami badań zmęczeniowych	Według metodyki LCPC: a) korelacje oparte są na 1 mln powtórzeń obciążenia b) temperatura badawcza tylko 10°C c) użycie tylko EQI (grubość warstwy bitumicznej dla 1 mln powtórzeń obciążenia)	9	1
III	Badania zmęczeniowe ściskania po tworzącej	Tak σ_b ,S_{max}	1.Prosty w budowie. 2.Ta sama aparatura badawcza może być użyta do innych celów. 3.Prognozowanie spękań.	1.Dwuosiowy stan naprężeń. 2.Niemożliwe oszacowanie trwałości zmęczeniowej	6	2
IV	Metoda energetyczna (badanie wielokrotnego zginania)	ϕ,ψ, σ_b lub ε_b S_{max}	1.Jednoznaczny związek pomiędzy energią rozpraszania i N	Dokładna prognoza wymaga obszernych badań zmęczeniowych. Uproszczone procedury pozwalają tylko na szacunkowe oceny wielkości trwałości zmęczeniowej	5	5
V	Badanie nacinanych próbek	Tak K_I, S_{max}, a/h-N	1.Uzasadnione teoretycznie dla niskich temperatur. 2.W zasadzie nie istnieje potrzeba prowadzenia badań zmęczeniowych	1.W wysokiej temperaturze czynnik K_I nie jest stały. 2.Potrzeba dużej liczby danych doświadczalnych. 3.Wymagane jest określenie czynnika K_{II}. Ażeby określić trwałość zmęczeniową, niezbędne jest ustalenie związku pomiędzy K_I i K_{II}. 4.Badanie tłumaczy tylko stan propagacji spękań trwałych.	7	8
VI	Badanie wielokrotnego rozciągania lub rozciągania i ściskania	Tak σ_b lub ε_b S_{max}	Potrzeba prowadzenia badań zmęczeniowych na zginanie jest konieczna	Badanie czasochłonne, kosztowne i wymagające specjalnego sprzętu laboratoryjnego	8	3
VII	Badanie trójosiowe-badanie wielokrotnego zginania i ściskania	Tak σ_d, σ_c S_{max}	Stosunkowo lepsza symulacja warunków polowych.	Badanie czasochłonne, kosztowne i wymagające specjalnej aparatury badawczej.	2	6
VIII	Badanie wielokrotnego zginania próbki leżącej na podbudowie sprężystej.	Tak σ_b lub ε_b S_{max}	1.Stosunkowo lepsza symulacja warunków polowych. 2.Badania mogą być prowadzone w wyższych temperaturach (próbki są całkowicie podparte).	Badanie czasochłonne, kosztowne i wymagające specjalnej aparatury badawczej.	3	7

1	2	3	4	5	6	7
IX	Badanie próbek wielokrotnym przejazdem ogumionego koła samochodowego w warunkach laboratoryjnych (laboratoryjny symulator ruchu)	Tak σ_b lub ε_b	Dobra symulacja warunków polowych.	1.Przy niskich wartościach S_{mix} trwałość zmęczeniowa uwarunkowana jest koleinowaniem. 2.Wymagany jest specjalny osprzęt badawczy.	1	9
X	Badanie na kołowym torze doświadczalnym.	Tak σ_b lub ε_b	Bezpośrednie określenie trwałości zmęczeniowej pod obciążeniem kołem samochodowym.	1.Badanie czasochłonne, kosztowne. 2.Stosunkowo mało materiałów może być badane w tym samym czasie. 3.Wymaga się specjalnego osprzętu badawczego.	1	10

Oznaczenia użyte w tablicy:

σ_b - naprężenia niszczące (zmęczeniowe rozciąganie),
σ_c, σ_d - naprężenia w metodzie trójosiowej,
ε_b - odkształcenia niszczące (zmęczeniowe rozciąganie),
S_{mix} - moduł sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych,
ϕ - kąt przesunięcia fazowego,
ψ - współczynnik energetyczny,
K_I, K_{II} - współczynnik wzrostu naprężeń (naprężenie × długość spękania podniesiona do potęgi 1/2) w próbkach naciętych przy dwóch sposobach odkształcenia, odpowiednio w sposobie otwierania naciętej rysy i sposobie ścinania,
a - długość spękania.

3. PROGRAM BADAŃ

3.1. Modyfikacja betonu asfaltowego

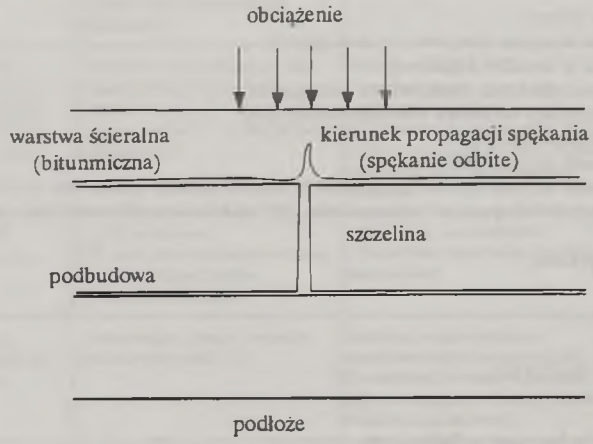
Podstawowym celem modyfikacji betonu asfaltowego, jako materiału do budowy nawierzchni drogowej, jest zwiększenie eksploatacyjnej trwałości nawierzchni. Działanie środka modyfikującego powoduje podniesienie odporności nawierzchni na uszkodzenia wywołane oddziaływaniem powtarzalnych dynamicznych i statycznych obciążeń użytkowych oraz czynników atmosferycznych i środowiskowych.

Modyfikację mieszanek mineralno-asfaltowych przez stosowanie dodatków ukierunkowano na zwiększenie granicznych dopuszczalnych odkształceń sprężystych w niskich temperaturach, zmniejszenie odkształceń trwałych w temperaturach dodatnich, przystosowanie nawierzchni do miejscowego klimatu i różnorakich wymogów ruchu drogowego w celu zwiększenia trwałości nawierzchni.

Z wielu znanych metod modyfikacji [1, 11, 12] w pracy skoncentrowano się na eksperymentach związanych z dodatkiem włókien rozproszonych i geosiatek. Badano skuteczność ich oddziaływania na stabilność i odkształcenie betonów asfaltowych oraz odporność na deformacje górnicze podłoża.

3.2. Badania modyfikowanych betonów w koleiniarce (laboratoryjny symulator ruchu)

Spękania odbite pojawiają się na powierzchni bitumicznej warstwy ścieralnej jako efekt propagacji spękań warstw dolnych, są zainicjowane naprężeniami wywołanymi w warstwie bitumicznej przez nieciągłość warstwy leżącej poniżej (rys.1).



Rys. 1. Spękania odbite w warstwie ścieralnej wywołane nieciągłością górnej warstwy podbudowy
Fig. 1. Cracks reflected in the abrasion layer due to discontinuity of upper substructure layer

Zjawisko powstawania spękań odbitych jest przedmiotem szeregu analiz prowadzonych w wielu zagranicznych ośrodkach badawczych. Najczęściej rozważane są trzy mechanizmy:

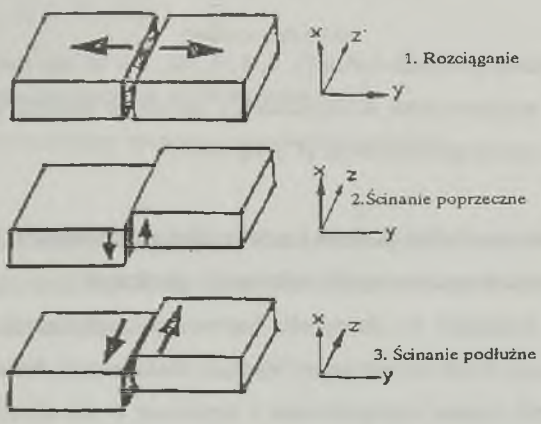
1) zmęczenie termiczne,
2) zmęczenie od obciążeń,
3) spękanie zainicjowane na powierzchni jezdni.

Na drogach znajdujących się na terenach szkód górniczych występują spękania odbite w warstwach ścieralnych w wyniku nieciągłości powstałej w podłożu drogowym i w warstwach podbudowy. Można stwierdzić, że mechanizm spękań jest ściśle związany z typem indukowanego przemieszczenia. Na rys. 2 przedstawione są trzy rodzaje rozwarcia szczeliny związane z następującymi warunkami pracy warstwy:

1 - rozciąganiem w przypadku przemieszczeń indukowanych termicznie lub górniczym poziomym przemieszczeniem podłoża,

2 - poprzecznym ścinaniem, prostopadłym do frontu pęknięcia, przeważnie związanym z obciążeniem od ruchu, zmianami objętości indukowanymi termicznie lub wpływami górniczymi,

3 - podłużnym ścinaniem, równoległym do frontu pęknięcia; ten rodzaj ścinania występuje w wyniku bocznego przemieszczenia spowodowanego brakiem stabilności, jak również w strefie uskokowej na terenach górniczych.



Rys. 2. Rodzaje rozwarcia szczeliny wg [5]
Fig. 2. Kinds of divergent cracks, according to [5]

Dla opisu procesu spękań można zastosować następujące kierunki analiz:

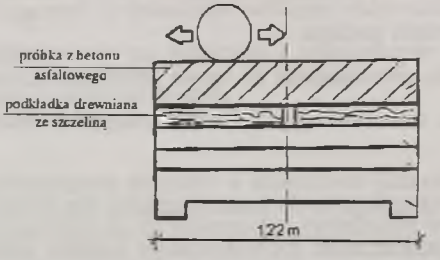
a) mechanikę spękań,

b) prawo Minera kumulacji odkształceń,

c) kryterium zmęczeniowe,

d) analizę naprężeń termicznych.

Zgodnie z przedstawionymi mechanizmami powstawania spękań odbitych w nawierzchni, w szeregu laboratoriów drogowych prowadzone są badania symulacyjne, w których mechanizmy te są wymuszane. Uzyskane efekty porównywane są dla różnych struktur kompozytów (mieszanki mineralno-asfaltowe wzmacniane dodatkami rozproszonymi, geotekstyliami itp.).



Rys. 3. Schemat badania betonu asfaltowego "pod ruchomym kołem" [10]
Fig. 3. Scheme of studying asphaltic concrete "under the moving wheel" [10]

Na podstawie przeglądu badań [3, 6, 8, 9, 10], a w szczególności badań "pod toczącym się kołem" wykonywanych w angielskich i japońskich laboratoriach, dokonano adaptacji posiadanego prototypu koleiniarki [17] wg rys.3.

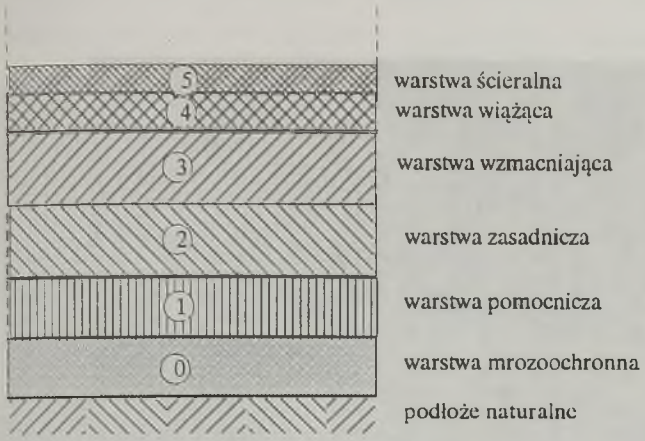
3.3. Badanie materiałów podłoża i nawierzchni na stanowisku badawczym w skali 1:1 w warunkach symulowanych deformacji górniczych

Badania wykonano na stanowisku badawczym, wykonanym w ramach pracy [15], znajdującym się w hali laboratoryjnej Wydziału Budownictwa Politechniki Śl. w Gliwicach.

Stanowisko zostało zaprojektowane i wykonane w ten sposób [16], by umożliwiało symulowanie rozpełzania górniczego podłoża pod konstrukcją nawierzchni drogowej oraz spełniało warunki do przeprowadzenia podstawowych badań polowych nawierzchni. Odwzorowuje ono część korpusu drogowego w skali naturalnej. Na metrowej warstwie podłoża gruntowego wbudować można różne konstrukcje nawierzchni. Przewiduje się testowanie różnych geosyntetyków w następujących układach warstw (rys.4):

5 - warstwa ścieralna,
4 - warstwa wiążąca,
3 - warstwa wzmacniająca,
2 - podbudowa zasadnicza,
1 - podbudowa pomocnicza.
0 - warstwa mrozoochronna

Ocenę nośności podłoża i nawierzchni w kolejnych cyklach pomiarowych wykonano przy użyciu płyty VSS, oznaczając moduły odkształcenia M_E (pierwotny i wtórny) (rys.5) i wskaźnik nośności CBR. Ocenę stanu nawierzchni wykonano na podstawie geodezyjnych pomiarów (rys.6) przemieszczeń punktów pomiarowych na nawierzchni oraz oceny makro-

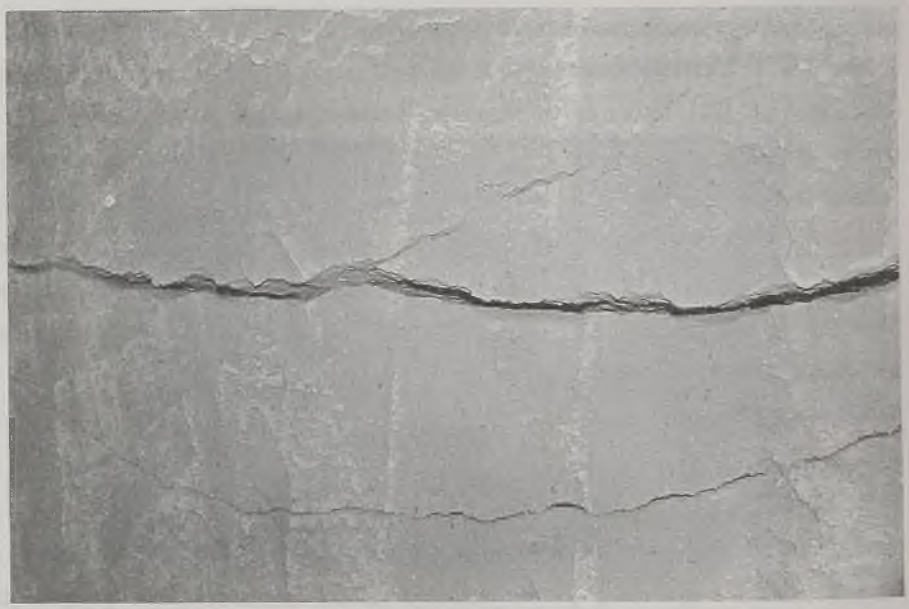


Rys. 4. Układ warstw nawierzchni testowanych w warunkach symulowanych deformacji górniczych podłoża
Fig. 4. System of surface layers tested under simulation of mining-caused deformation of the ground

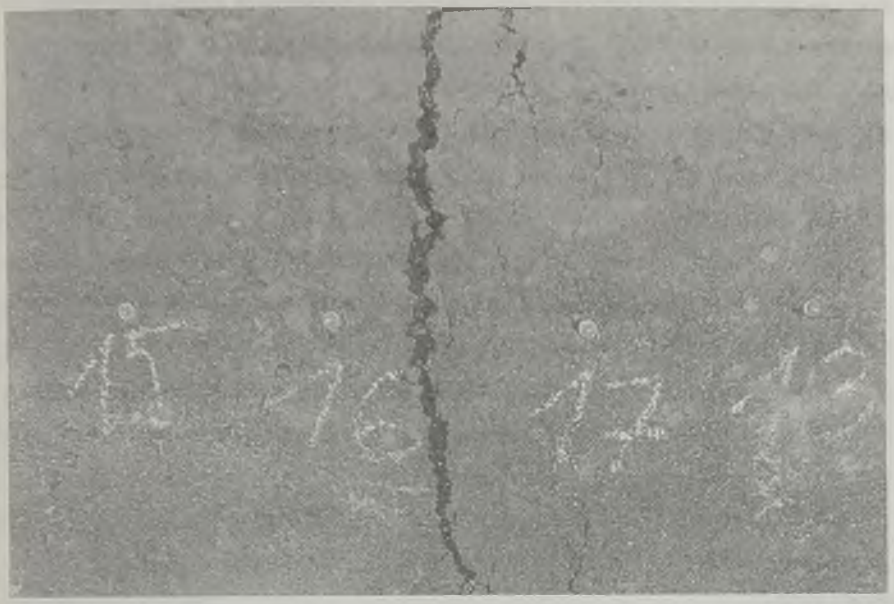
skopowej, wykonując dokumentację fotograficzną stanu podłoża (rys.7) i nawierzchni (rys.8) dla poszczególnych faz odkształceń podłoża. Możliwy jest pomiar odkształceń i naprężeń w poszczególnych warstwach nawierzchni.

Rys. 5. Pomiar nośności płytą VSS
Fig. 5. Measurement of load-carrying ability with VSS slab

Rys. 6. Geodezyjny pomiar deformacji
Fig. 6. Geodesic measurement of distortion



Rys. 7. Pęknięcia podłoża
Fig. 7. Subsoil cracking



Rys. 8. Pęknięcia nawierzchni
Fig. 8. Surface cracking

4. WNIOSKI

Wykonane badania pozwalają sformułować następujące wnioski:

4.1. Wnioski ogólne

4.1.1. Wyniki badań potwierdziły założenia o wpływie odkształceń podłoża na stan i nośność nawierzchni.

4.1.2. Stanowisko badawcze umożliwia w warunkach polowych: symulację w poszczególnych warstwach nawierzchni oddziaływań od szkód górniczych; pomiar odkształceń i naprężeń; pomiar nośności wyrażony modułem odkształcenia M_E lub wskaźnikiem **CBR**.

4.1.3. Efektem prac ma być wprowadzenie wpływu szkód górniczych do obowiązujących metod wymiarowania wzmocnień nawierzchni istniejących i nowo projektowanych.

4.1.4. Stanowisko umożliwia kompleksowe (zgodne z programem SHRP [8]) testowanie materiałów wzmocnień nawierzchni, co umożliwia w przyszłości opracowanie szczegółowych zaleceń materiałowych dla dróg na terenach górniczych.

4.2. Wnioski szczegółowe

4.2.1. Badany beton asfaltowy wzmacniany włóknami rozproszonymi poliamidowymi Pabianickich Zakładów Tkanin Technicznych wykazał 17% wzrost stabilności wg Marshalla [15].

4.2.2. Wyniki badań betonu modyfikowanego w symulatorze ruchu wykazały korzystny wpływ dodatku włókien poliamidowych na odkształcenie. Równocześnie stabilność wzrosła o 17,5% [15].

4.2.3. Tkanina wykonana z tego samego włókna okazała się nieskuteczna do wzmocniania podłoża. Pomierzone moduły odkształcenia z siatką i bez niej wykazały te same wartości przed i po rozluźnieniu podłoża [15].

LITERATURA

[1] Alama G.: Cienkie warstwy ścieralne z wytwarzanych na goraco mieszanek mineralno-asfaltowych z włóknem. Nowości Zagranicznej Techniki Drogowej 93-94/87.

[2] Comton C., Valayer P.J.: Etude de l'ornierage au laboratoire: l'essai de fluage dynamique. Revue.

[3] Fonferko Ł.: Metody badań nawierzchniowych mieszanek mineralno-asfaltowych wzmacnianych geotekstyliami. Drogownictwo 3/90.

[4] Grabowski W.: Zagadnienia trwałości betonu asfaltowego w nawierzchni drogowej. Politechnika Poznańska, 1985.

[5] Haas R. Pontiak J.: Design oriented evaluation of alternatives for reflection cracking through pavement overlays ss.23-46.

[6] Lewinowski Cz. Strycharz B.: Przegląd metod badań mechanicznych właściwości mas bitumicznych. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. s.Budownictwo nr 52, Gliwice 1980.

[7] Nunn M.: An investgation of reflection cracking in composite pavements in the United Kingdom ss.146-153.

[8] Radziszewski P.: Przyspieszone metody badań mieszanek mineralno-bitumicznych proponowane przez autorów programu badawczego SHRP cz.I. Drogownictwo 11-12/91.

[9] Radziszewski P.: Badania i ocena trwałości zmęczeniowej mieszanek mineralno-asfaltowych cz.I. Drogownictwo 10/93.

[10] RILEM: Reflective Cracking in Pavement. Assessement and Control International Conference, Universite de Liege, Belgium 1989.

[11] Rolla S.: Geotekstylia w budownictwie drogowym. WKiŁ, Warszawa 1988.

[12] Rolla S.: Geotekstylia w nawierzchniach drogowych. Nowości Zagranicznej Techniki Drogowej nr 103/90.

[13] Arabska M., Ikwanty H.: Analiza stanu bezpieczeństwa ruchu. GDDP, Warszawa 1992.

[14] Chlipalski K., Strycharz B., Żak A.: Wpływ podziemnej eksploatacji górniczej na drogi kołowe i środowisko. Europejska Konferencja Drogowa Wschód-Zachód, Warszawa 1993.

[15] Chlipalski K., Strycharz B., Żak A.: Wzmacnianie nawierzchni bitumicznych na szkodach górniczych. BK-637/RB-3/93.

[16] Chlipalski K., Strycharz B., Żak A.: Nawierzchnia drogowa na terenach górniczych - wzmacnianie nawierzchni. BK-11/RB-3/94.

[17] Strycharz B.: Reologiczne właściwości mas mineralno-bitumicznych w aspekcie wymiarowania podatnych nawierzchni drogowych. Praca doktorska 1982.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Wiesław Szumierz

Wpłynęło do Redakcji 19.05.1995 r.

Abstract

Different working conditions of road surfaces in areas distorted by the effects of underground coal mining activity have forced studies of building materials and technological solutions suitable for these conditions.

The method adopted by the authors was worked out based on results of SHRP (Strategic Highway Research Program). Project A-003A named " Performance-related Testing and Measuring of Asphalt-Aggregate Interaction and Mixtures" has been carried out in the USA since November 30, 1988 under the direction of the Institute of Transportation Studies of the University of California.

In the method adopted by the authors a prototype traffic simulator (rut-making machine) was used [17] on a study site[15] in 1:1 scale which permits testing of various road building materials under stimulated ground deformation.