Budownictwo i Architektura 13(4) (2014) 117-125

Badania i analizy sczepności międzywarstwowej w nawierzchniach asfaltowych

Piotr Jaskuła

Katedra Inżynierii Drogowej, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska, e–mail: piotr.jaskula@wilis.pg.gda.pl

Streszczenie: Referat zawiera opis prac badawczych sczepności międzywarstwowej warstw asfaltowych przeprowadzonych na Politechnice Gdańskiej. Badania wykonano w laboratorium i w terenie oraz wykonano analizy obliczeniowe konstrukcji nawierzchni, gdzie modelowano różną sczepność międzywarstwową. Prace laboratoryjne obejmowały badania sczepności z wykorzystaniem metody bezpośredniego ścinania, oceniające wpływ wybranych czynników na sczepność międzywarstwową: rodzaj i ilość emulsji, metoda i efektywność zagęszczenia, wrażliwość na zanieczyszczenia i wodę oraz powtarzalne obciążenie ścinające. Prace terenowe dotyczyły wpływu sczepności na ugięcia konstrukcji oraz sztywność warstw asfaltowych. W analizach badań terenowych uwzględniono także wpływ na sczepność międzywarstwową wskaźnika zagęszczenia warstw asfaltowych. Analizy obliczeniowe konstrukcji nawierzchni asfaltowych zawierały symulację sczepności międzywarstwowej przy wykorzystaniu modelu wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej oraz modeli kohezji, tarcia w metodzie elementów skończonych.

Słowa kluczowe: sczepność międzywarstwowa, warstwa sczepna, konstrukcja nawierzchni, ugięcia nawierzchni, wielowarstwowa półprzestrzeń sprężysta, MES

1. Wprowadzenie

Sczepność międzywarstwowa w wielowarstwowej konstrukcji nawierzchni, a w szczególności pomiędzy warstwami asfaltowymi ma istotny wpływ na rozkład naprężeń i odkształceń w konstrukcji nawierzchni obciążonej ruchem samochodowym [1]. Brak lub niewystarczająca sczepność między warstwami asfaltowymi powoduje zwiększone ugięcia nawierzchni, te zaś generują zwiększone odkształcenia i naprężenia rozciągające na spodzie poszczególnych warstw. Przy nałożeniu się niekorzystnych warunków obciążenia i stanu konstrukcji mogą wystąpić przedwczesne strukturalne uszkodzenia w postaci spękań, prowadząc do skrócenia trwałości zmęczeniowej nawierzchni. Dla zapewnienia właściwego powiązania warstw asfaltowych powszechnie stosuje się warstwę sczepną z emulsji asfaltowej. Identyfikacja i zrozumienie czynników wpływających na właściwe zaprojektowanie oraz poprawne wykonanie warstwy sczepnej jest podstawowym elementem sukcesu w zakresie połączeń międzywarstwowych, które między innymi bada się przy wykorzystaniu aparatu do bezpośredniego ścinania opracowanego w Niemczech pod koniec lat 70 tych przez Leutnera [2]. Istnieją także inne metody laboratoryjnego badania sczepności międzywarstwowej, które omówiono w publikacjach [3], [4].

Z pośród wielu czynników wpływających na jakość połączenia międzywarstwowego zgodnie z opracowaniami [5], [6] decydujące znaczenie mają: rodzaj i ilość warstwy sczepnej, zagęszczenie stykających się warstw asfaltowych, a głównie warstwy wyżej leżącej. Wpływ rodzaju i ilości warstwy sczepnej na sczepność międzywarstwową opisano

w [3], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]. Pozytywny wpływ właściwego zagęszczenia warstw asfaltowych na sczepność przedstawiono w publikacjach [3], [14], [13]. Czynniki środowiskowe, jak obecność wody, zanieczyszczeń także oddziaływają na siłę połączenia [6], [9], [15], [16]. Jakość powiązania warstw asfaltowych w terenie opisano w [13], [17], jak i wpływ odpowiedniego zagęszczenia warstw asfaltowych na połączenie międzywarstwowe przedstawiono w pracach [18], [19]. Natomiast wpływ sczepności na ugięcia konstrukcji przedstawiono między innymi w pracach [13], [20], [21], [22]. Wyjaśnienie niektórych zachowań konstrukcji nawierzchni nie jest możliwe bez wykonania analiz obliczeniowych, gdzie można z większym lub mniejszym przybliżeniem zasymulować sczepność międzywarstwową warstw konstrukcji nawierzchni [1], [19].

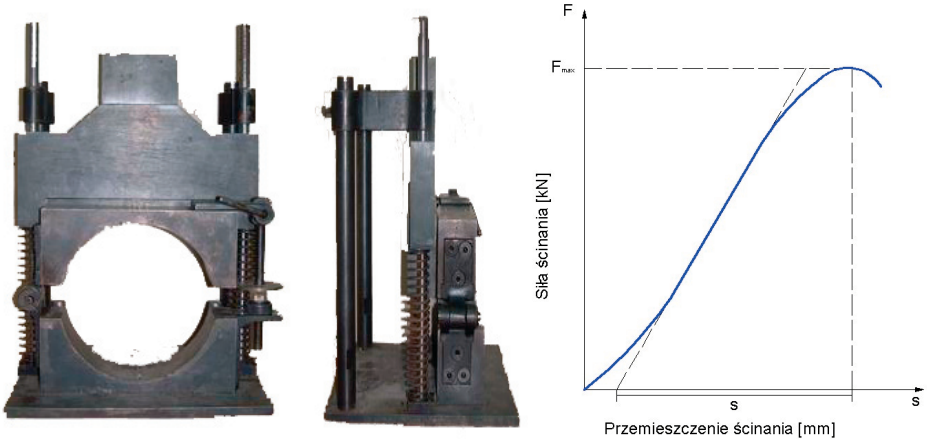
Artykuł przedstawia przegląd wyników badań z wielu projektów badawczych i badań własnych realizowanych w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej.

2. Badania laboratoryjne

2.1. Aparat ścinania bezpośredniego

W przedstawionych badaniach sczepności międzywarstwowej wykorzystano metodę ścinania bezpośredniego zaproponowaną przez Leutnera w 1979 r. i opisaną w instrukcji [2]. Badanie ścinania bezpośredniego wg Leutnera polega na bezpośrednim, wolnym od momentów (na zginanie) przebiegu ścinania w płaszczyźnie połączenia międzywarstwowego, która jest granicą warstw asfaltowych rdzeni o średnicy 150 mm. W czasie badania mierzona jest siła ścinająca i przemieszczenie ścinania (patrz rys. 1b). Zniszczenie w ustalonej płaszczyźnie ścinania następuje z prędkością przesuwu tłoka równą 50,8 mm/min. Tak jak w oryginalnej procedurze badania odległość pomiędzy szczękami ścinającymi wynosi 0 mm. Próbki bezpośrednio przed badaniem kondycjonowano przez 12 godz. w suszarce z nawiewem powietrza w temperaturze +20°C.

Na podstawie pomierzonej maksymalnej siły ścinania i pola powierzchni styku warstw obliczano wytrzymałość na ścinanie, która jest miarą sczepności międzywarstwowej podczas badań kontrolnych w Polsce.



a) b)

Rys. 1. Widok a) aparat ścinania, b) wykres siły ścinającej w funkcji przemieszczenia ścinania w badaniu sczepności międzywarstwowej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

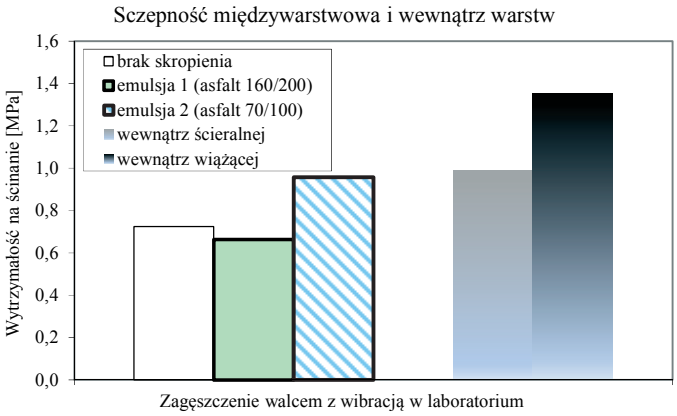
2.2. Materiał i przygotowanie próbek

W badaniach laboratoryjnych do oceny sczepności międzywarstwowej pomiędzy warstwami asfaltowymi wykorzystano dwuwarstwowe próbki z betonów asfaltowych formowanych w laboratorium. Ocenie poddano różne konfiguracje warstw sczepnych: brak skropienia, brak skropienia w technologii „gorące na gorące" oraz skropienie dwoma różnymi emulsjami asfaltowymi. Jedna z nich to emulsja produkowana na bazie asfaltu zwykłego 160/200 (emulsja 1), zwykle stosowana do 2006 roku przez wykonawców robót bitumicznych. Druga to emulsja specjalnie dedykowana do skropień międzywarstwowych po wprowadzeniu normy PN-EN 13808, produkowana na bazie zwykłego asfaltu 70/100 (emulsja 2). Skropienie z emulsji stosowano w ilości 0,3-0,4 kg/m^3.

Stosowano cztery metody zagęszczenia: małym walcem o masie 465 kg bez wibracji, małym walcem z wibracją, zagęszczarką wg normy PN-EN 12697-33 i prasą żyratorową wg normy PN-EN 12697-31. Walcem zagęszczano płyty o wymiarze 900 mm x 1200 mm w warstwach o wysokości: 6 cm dolna i 4 cm górna. Zagęszczarką zagęszczano płyty o wymiarze 305 mm x 305 mm w warstwach o tej samej wysokości co walec, czyli 6 i 4 cm. Natomiast w prasie żyratorowej zagęszczano próbki o średnicy 150 mm w warstwach o wysokości 10 cm, zarówno dolną i górna warstwę. Wszystkie próbki zagęszczano do osiągnięcia ustalonej wysokości i odpowiedniej gęstości objętościowej z badania Marshalla.

2.3. Wyniki sczepności międzywarstwowej

Na rys. 2 przedstawiono wyniki wytrzymałości na ścinanie pomiędzy warstwami ścieralną i wiążącą przy zastosowaniu różnej warstwy sczepnej i wytrzymałości na ścinanie wewnątrz warstw. Można zaobserwować wyraźną korzyść z zastosowania emulsji z asfaltem 70/100, jak i nieznaczne pogorszenie sczepności przy zastosowaniu emulsji z asfaltem 160/200 w odniesieniu do połączenia, gdzie nie zastosowano skropienia. Jednocześnie widać, że zastosowanie właściwej emulsji, specjalnie dedykowanej do skropień międzywarstwowych, wyprodukowanej na bazie asfaltu 70/100 umożliwia uzyskanie wytrzymałości na ścinanie połączenia międzywarstwowego na poziomie zbliżonym jaki uzyskuje jedna z warstw połączonych (ścieralna); ścinana wewnątrz warstwy.

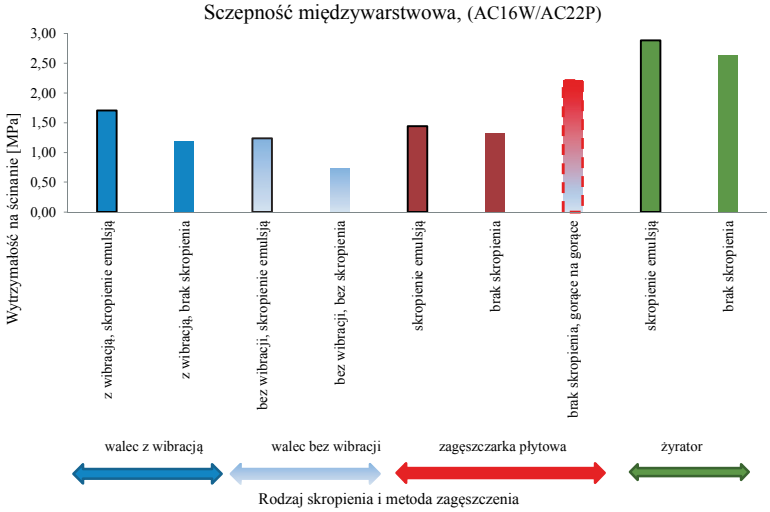


Rys. 2. Wytrzymałość na ścinanie próbek przygotowanych w laboratorium z różną warstwą sczepną

W badaniach [12] stwierdzono, że zabrudzenie pyłami mineralnymi lub zawilgocenie gotowego, dobrze wykonanej warstwy sczepnej obniża wytrzymałość na ścinanie o 10-15%.

Rys. 3 przedstawia wyniki sczepności międzywarstwowej, gdzie przebadano trzy kombinacje warstw sczepnych i cztery metody zagęszczenia warstw asfaltowych. Można zauważyć, że rodzaj warstwy sczepnej oraz sposób zagęszczania próbek w laboratorium ma istotny wpływ na wynik sczepności międzywarstwowej. W każdym przypadku połączeń, gdzie zastosowano emulsję do skropień międzywarstwowych, wyprodukowaną na bazie twardego asfaltu, uzyskano wyższe sczepności międzywarstwowe w stosunku do połączeń bez emulsji, poza przypadkiem zastosowania zagęszczenia kolejnych warstw w technologii gorące na gorące bez skropienia emulsją. W tym przypadku uzyskano wysokie wytrzymałości na ścinanie, potwierdzające skuteczność technologii gorące na gorące podczas wbudowywania warstw asfaltowych.

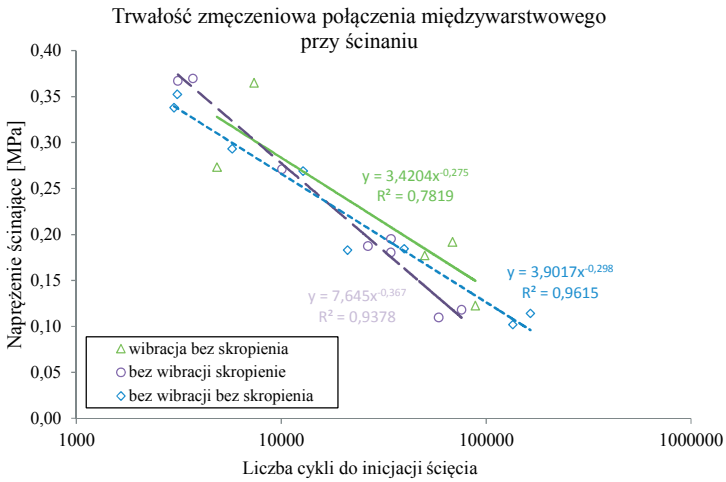
Zagęszczenie warstw walcem z wibracją i zagęszczarką pozwala osiągnąć podobną siłę powiązania międzywarstwowego. Od tych dwóch metod zagęszczania nieznacznie niższe wartości wytrzymałości na ścinanie uzyskano przy zagęszczaniu walcem bez wibracji. Najniższą sczepność międzywarstwową próbek zagęszczanych w warunkach laboratoryjnych zaobserwowano przy braku skropienia międzywarstwowego i niskiej skuteczności zagęszczenia górnej warstwy walcem bez wibracji. Zdecydowanie najwyższe wytrzymałości na ścinanie uzyskano dla próbek zagęszczanych w żyratorze, zarówno przy i braku skropienia międzywarstwowego. Obserwacje te odgrywają istotne znaczenie podczas porównywania wyników badań sczepności międzywarstwowej próbek przygotowywanych w laboratorium, kiedy różnice mogą dochodzić aż do 100% właśnie ze względu na metodę zagęszczenia próbek.



Rys. 3. Wytrzymałość na ścinanie próbek przygotowanych w laboratorium różną metodą zagęszczenia i z różną warstwą sczepną

Wykonano także badania zmęczeniowe połączenia międzywarstwowego przy kontrolowanym naprężeniu w schemacie bezpośredniego ścinania, jak w badaniu Leutnera. Zaobserwowano (patrz rys. 4), że przy wysokich poziomach naprężeń ścinających skropienie istotnie wpływa na trwałość połączenia międzywarstwowego. Natomiast przy niższych poziomach naprężeń ścinających skropienie w mniejszym stopniu wpływa na trwałość; istotne znaczenie ma zazębienie ziaren sąsiadujących warstw uzyskane poprzez skuteczne zagęszczenie, wprowadzając wibrację podczas wałowania warstw.

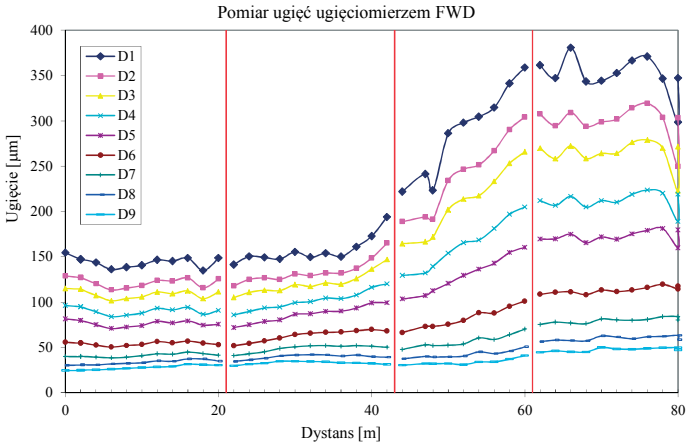
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 4. Trwałość zmęczeniowa połączenia międzywarstwowego przy ścinaniu próbek przygotowanych w laboratorium różną metodą zagęszczenia i z różną warstwą sczepną

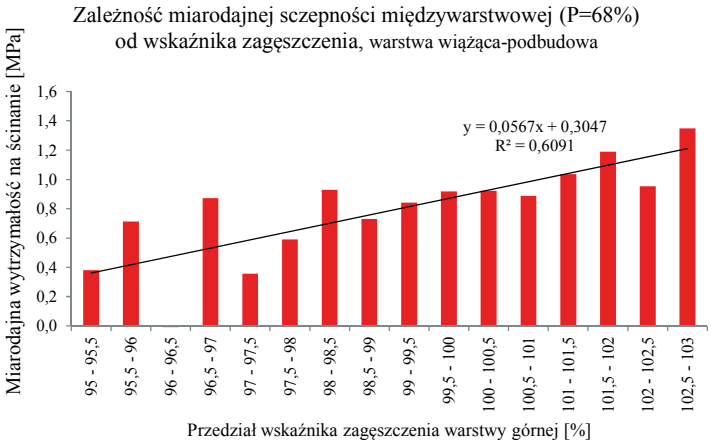
3. Badania terenowe

Badania terenowe na odcinku doświadczalnym, gdzie podczas wbudowywania kolejnych warstw asfaltowych zakłócono powiązanie międzywarstwowe pomiędzy warstwą wiążącą i podbudową asfaltową potwierdzają istotny wpływ sczepności międzywarstwowej na pracę konstrukcji nawierzchni. Jak widać na rys. 5, gdzie na pierwszych 40 m nawierzchni zachowano sczepność międzywarstwową, a na kolejnych 40 m sczepność pomiędzy warstwami wiążącą i podbudową zakłócono, ograniczając do minimum poprzez wprowadzenie dużej ilości pyłów z odpylania lub zaczynu gliniastego, ugięcia nawierzchni rosną ponad dwukrotnie przy braku sczepności. Nieuwzględnienie wadliwego połączenia międzywarstwowego przy obliczeniach odwrotnych (modułów sprężystości warstw konstrukcji nawierzchni na podstawie czaszy ugięć) skutkuje uzyskaniem zaniżonych wartości modułów sztywności warstw asfaltowych [22].



Rys. 5. Ugięcia nawierzchni na odcinku doświadczalnym, gdzie ograniczono sczepność pomiędzy warstwą wiążącą i podbudową asfaltową.

Rys. 6 przedstawia uzyskane wyniki ścinania bezpośredniego wg Leutnera próbek odwierconych z nawierzchni budowanych dróg w funkcji przedziałów wskaźnika zagęszczenia górnej warstwy asfaltowej. Można zaobserwować, że istnieje korelacja pomiędzy sczepnością międzywarstwową opisaną poprzez miarodajne maksymalne naprężenie ścinania i wskaźnikiem zagęszczenia górnej warstwy połączenia warstwy wiążącej i podbudowy. Taki sam trend zaobserwowano przy ocenie połączenia warstw ścieralnej i wiążącej [19]. Stwierdzono, że lepsze zagęszczenie warstwy górnej skutkuje lepszym klinowaniem się mieszanki warstwy górnej w warstwie dolnej, co wpływa na wyższą wytrzymałość na ścinanie.



Rys. 6. Miarodajna wytrzymałość na ścinanie w zależności od wskaźnika zagęszczenia warstwy wyżej leżącej, próbki odwiercone z nowobudowanych nawierzchni – 1148 próbek

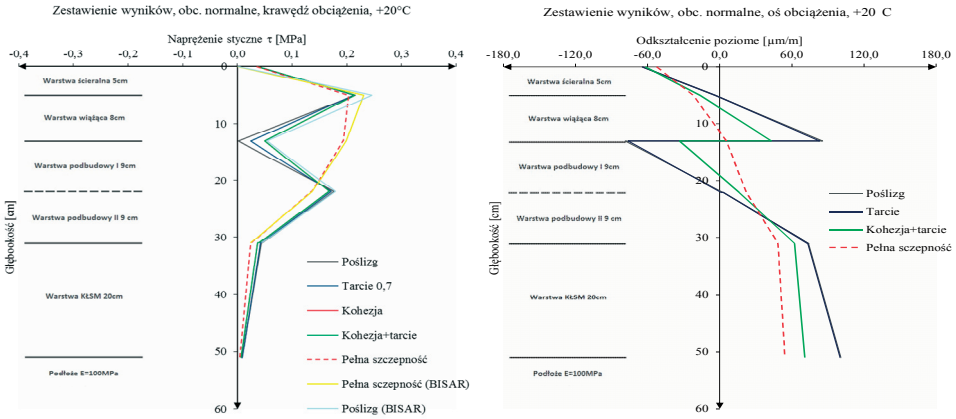
4. Analizy obliczeniowe

Analizy obliczeniowe konstrukcji nawierzchni wykonano w programie BISAR, który wykorzystuje model wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej oraz w programie ABAQUS, który wykorzystuje metodę elementów skończonych (MES). W wykonanych analizach obliczeniowych konstrukcji nawierzchni modelowano pełną sczepność międzywarstwową pomiędzy warstwami asfaltowymi, jak i brak oraz ograniczoną sczepność. Pełną sczepność i pełen poślizg (brak sczepności) modelowano w programie BISAR i ABAQUS, natomiast kontakt z zastosowaniem tarcia pomiędzy powierzchniami i kontakt kohezyjny oraz połączenie tych dwóch ostatnich modeli modelowano w programie ABAQUS. Na podstawie wykonanych obliczeń [13], [19], gdzie ograniczano sczepność pomiędzy warstwami ścieralna-wiążąca, wiążąca-podbudowa i pomiędzy warstwami podbudowa górna-dolna stwierdzono, że w konstrukcjach KR6 brak sczepności w niższych warstwach istotnie wpływa na trwałość zmęczeniową konstrukcji. Natomiast brak sczepności pomiędzy warstwami ścieralna-wiążąca istotnie wpływa na trwałość konstrukcji cieńszych, jak KR3.

W obliczeniach mechanistycznych przy pomocy MES możliwe jest wprost wykorzystanie wyników badań laboratoryjnych ścinania z badania Leutnera, jako krytyczne wartości w modelu kohezyjnym. Symulacje w metodzie MES pozwalają bardziej zbliżyć się do stanu naprężeń i odkształceń, panujących na drodze w przypadku występowania braku sczepności podczas badań kontrolnych. W tym przypadku można uwzględnić występujące tarcie pomiędzy warstwami asfaltowymi, jak i aktywującą się w wyższych temperaturach

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

eksploatacji kohezję asfaltu, co można zaobserwować w zmianach wyników naprężeń ścinających i odkształceń poziomych w płaszczyźnie, gdzie stwierdzono ograniczoną sczepność (patrz rys. 7).



Rys. 7. Naprężenia styczne od obciążeń normalnych, krawędź obciążenia kołowego, temperatura +20°C. Wyniki z obliczeń naprężeń z wykorzystaniem programów Abaqus i Bisar; z obliczeń odkształceń z programu Abaqus przy zastosowaniu różnych modeli sczepności pomiędzy warstwą wiążącą i podbudową

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz sformułowano następujące wnioski:

- Wadliwe połączenie międzywarstwowe warstw asfaltowych zmniejsza sztywność układu warstw nawierzchni, zwiększając ugięcia nawierzchni, które wywołują zwiększone poziome odkształcenia rozciągające na spodzie warstw asfaltowych, a te zmniejszają trwałość zmęczeniową nawierzchni.
- Sczepność międzywarstwowa istotnie zależy od: rodzaju emulsji w skropieniu, skuteczności zagęszczenia warstw stykających się ze sobą.
- Emulsje asfaltowe do skropienia międzywarstwowego produkowane z asfaltów o penetracji nie większej niż 70/100 j.pen. charakteryzują się najlepszą sczepnością.
- Wpływ na utratę trwałości nawierzchni ma miejsce wystąpienia braku sczepności. W podatnych konstrukcjach dla ruchu KR6 istotne jest połączenie warstwy wiążącej i podbudowy asfaltowej, natomiast dla ruchu KR3 warstwy ścieralnej i wiążącej.
- W modelach teoretycznych można uwzględnić braki i ograniczenia sczepności międzywarstwowej. Metoda MES lepiej symuluje warunki panujące na drodze w zakresie sczepności międzywarstwowej w stosunku do metod wykorzystujących model wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej. Dzięki metodzie MES w analizach możliwe jest wykorzystanie wyników z badania ścinania aparatem Leutnera.

Literatura

1 Judycki J., Sczepność między warstwami asfaltowymi nawierzchni. Drogownictwo 9 (2003) 275–279.
2 FGSV. Arbeitsanleitungen zur Prüfung von Asphalt (ALP A-StB), Teil 4, Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkerswesen." FGSV, Koln, Germany, 1999.
3 Jaskuła P. Ocena sczepności międzywarstwami asfaltowymi nawierzchni. Drogownictwo 12, (2006).
4 Raposeiras A. C., Castro-Fresno D., Vega-Zamanillo A., Rodriguez-Hernandez J., Test methods and influential factors for analysis of bonding between bituminous pavement layers Constr. Build. Mater. 43 (Jun. 2013) pp. 372–381.
5 Al-Qadi I. L., Cortina A. S., Hasiba K. I., Ozer H., Leng Z., Mahmoud E., Parish D. C., Worsfold S. J. Best practices for implementation of tack coat: Part 2, Field study Springfield, 2012.
6 Al-Qadi I. L., Hasiba K. I., Cortina A. S., Ozer H., Leng Z., Parish D. C., Worsfold S. J. Best practices for implementation of tack coat: Part 1 , Laboratory study," Springfield, 2012.
7 Szczepaniak Z., Wysocki P. Badania wpływu emulsji asfaltowych na właściwości złączenia warstw nawierzchni asfaltowych, część I, Warsaw, Poland, 2003.
8 Szczepaniak Z., Skierczyński P. Badania wpływu emulsji asfaltowych na właściwości złączenia warstw nawierzchni asfaltowych, część II, Warsaw, Poland, 2004.
9 Raab C., Partl M. N. Effect of tack coats on interlayer shear bond of pavements, 8th Conference On Asphalt Pavements For Southern Africa, no. September, p. 9, 2004.
10 Canestrari F., Santagata E. Temperature effects on the shear behaviour of tack coat emulsions used in flexible pavements, Int. J. Pavement Eng., (Mar. 2005) vol. 6, no. 1, pp. 39–46,.
11 West R. C., Zhang J., Moore J., Evaluation of bond strength between pavement layers, Auburn, 2005.
12 Judycki J., Jaskuła P. Badania i ocena wpływu sczepności międzywarstwowej na trwałość konstrukcji nawierzchni asfaltowej, etap I, Gdańsk, Poland, 2005.
13 Judycki J., Jaskuła P., Fronc T., Sierosławski T. Badania i ocena wpływu sczepności międzywarstwowej na trwałość konstrukcji nawierzchni asfaltowej, etap II, Gdańsk, Poland, 2006.
14 Canestrari F., Ferrotti G., Partl M. N., Santagata E. Advanced Testing and Characterization of Interlayer Shear Resistance, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, no. 1929, (2005) pp. 69–78.
15 Raab C., Partl M. N. Interlayer shear performance: experience with different pavement structures 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna, 2004.
16 Sudyka J., Krysiński L., Jaskuła P., Mechowski T., Harasim P. Radar technique in application of interlayer identification connections, 5th International Conference Bituminous Mixtures And Pavements, no. June, p. 12, 2011.
17 Collop A. C., Sutanto M. H., Airey G. D., Elliott R. C. Shear bond strength between asphalt layers for laboratory prepared samples and field cores, Constr. Build. Mater., vol. 23, no. 6, (2009) pp. 2251–2258.
18 Vaitkus A., Cygas D., Laurinavicius A., Vorobjovas V., Kleiziene R. Research of asphalt layer bonding in Lithuanian pavement structures, Građevinar, vol. 64, no. 11, (2012) pp. 915–920.
19 Judycki J., Jaskuła P. Modelowanie teoretyczne wpływu sczepności międzywarstwowej na zachowanie się nawierzchni asfaltowych, etap III, Gdańsk, Poland, 2013.
20 Hakim B. A., Cheung L. W., Armitage R. J. Use of FWD data for prediction of bonding between pavement layers, Int. J. Pavement Eng., vol. 1, no. 1, (2000) p. 28.
21 Mehta Y. Evaluation of Interlayer Bonding in HMA Pavements, Rowan, 2007.
22 Jaskuła P. Wpływ braku sczepności międzywarstwowej na wartość modułów warstw asfaltowych obliczanych na podstawie ugięć. Drogownictwo 1, (2010) pp. 13–17.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Studies and analysis on interlayer bonding in asphalt pavements

Piotr Jaskuła

Department of Highway Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdansk University of Technology, e–mail: piotr.jaskula@wilis.pg.gda.pl

Abstract: The paper describes research works of interlayer bonding of asphalt layers conducted at Gdansk University of Technology. The studies included laboratory and field tests, and calculation of pavement structures with different interlayer bonding models. Laboratory tests included interlayer bonding tests using the direct shear method which evaluated the influence of selected factors on interlayer bonding: the type and the amount of the emulsion, the method and the effectiveness of compaction, vulnerability to dirt, water and repeated shear loads. Field works were focused on the impact of interlayer bonding of asphalt layers on the deflection of pavement structure and the back-calculated stiffness modulus of asphalt mixtures. The analyses of the field tests also included the impact of the asphalt layers compaction ratio on interlayer bonding. Computational analyses of asphalt pavement structures consisted of the simulation of different interlayer bonding in a multi-layered elastic half-space. Calculations were also made by using the finite element method within cohesion and friction models to simulate interlayer bonding.

Keywords: interlayer bonding, tack coat, pavement structure, deflection of pavement, multi-layered elastic half-space, FEM