



NUMERICAL MODELLING OF INTERLAYER ADHESION IN THE LAYER OF RECYCLED MATERIAL WITH THE USE OF THE LEUTNER APPARATUS AND COMPUTED TOMOGRAPHY SCANNING

NUMERYCZNE MODELOWANIE SZCZEPNOŚCI MIĘDZYWARSTWOWEJ W WARSTWIE RECYKLOWANEJ Z WYKORZYSTANIEM BADAŃ W APARACIE LEUTNERA ORAZ TOMOGRAFII KOMPUTEROWEJ

Grzegorz Mazurek*, Małgorzata Durlej, Marek Iwański
Kielce University of Technology, Poland

Abstract

The work has investigated the actual mechanism of the adhesion between successive asphalt layers, taking into account the macrostructure of the pavement layers, which are made of heterogeneous materials. The interaction between the joined layers was determined by applying a cohesion contact model. The parameters of the model were identified using the results obtained in the course of the actual Leutner tests. The heterogeneity of the structure was mapped based on a digital image of a tomographic cross-section. The separation of the materials included in the individual layers was performed with the use of a script in the MatLab program. Thanks to this, the batch file for the Abaqus program was prepared thoroughly. As a result, it was possible to map as closely as possible the profile of the deformation caused by the loss of the interlayer adhesion. Based on the data analysis, it was found that in the layer of the base course constructed from cold-applied recycled materials, the loss of interlayer adhesion is related to the state of non-linear mastic deformation. As a consequence, it was found that large deformations in the mastic structure would cause losses of aggregate grains in the recycled layer. In addition, a large horizontal displacement within the layer of the base course made of recycled material is one of the likely causes of edge fractures in the road structure.

Keywords: inite element method, Leutner test, contact phenomena, calibration of the cohesion contact model

Streszczenie

W pracy został rozpoznany rzeczywisty mechanizm pracy połączenia między warstwami asfaltowymi uwzględniający makrostrukturę warstw nawierzchni, które są w istocie rzeczy materiałami niejednorodnymi. Interakcję pomiędzy łączonymi warstwami określono poprzez zastosowanie modelu kohezijnego. Jego parametry zostały zidentyfikowane przy wykorzystaniu wyników pochodzących z rzeczywistych badań Leutnera. Niejednorodność struktury odwzorowano na podstawie cyfrowego obrazu przekroju tomograficznego. Separacja materiałów wchodzących w skład poszczególnych warstw została wykonana z wykorzystaniem skryptu w programie MatLab. Dzięki temu w sposób kompleksowy został przygotowany plik wsadowy do programu Abaqus. W rezultacie udało się odwzorować możliwie najwierniej stan odkształcenia, jaki powstaje w wyniku utraty szczepności międzywarstwowej. Na podstawie analizy danych stwierdzono, że w warstwie recy-

*Kielce University of Technology, Poland, e-mail: gmazurek@tu.kielce.pl

klowanej podbudowy w technologii na zimno utrata szczepności międzywarstwowej jest sprzężona z nieliniowym stanem odkształcenia w mastyksie. W konsekwencji stwierdzono, że duże odkształcenia w mastyksie spowodują w warstwie recyklowanej ubytki ziarn kruszywa. Ponadto duże przemieszczenia poziome w warstwie recyklowanej podbudowy są jedną z prawdopodobnych przyczyn odlamania krawędzi w konstrukcji drogi.

Słowa kluczowe: metoda elementów skończonych, badanie Leutnera, zjawiska kontaktowe, kalibracja modelu kohezynego

REFERENCES

- [1] *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych* 2014.
- [2] Obara P., Gilewski W.: *Dynamic Stability of Moderately Thick Beams and Frames with the Use of Harmonic Balance and Perturbation Methods*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences 2016, 64, doi:10.1515/bpasts-2016-0083.
- [3] Judycki J., Jaskula P.: *Modelowanie teoretyczne wpływu szczepności międzywarstwowej na zachowanie się nawierzchni asfaltowych*, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Politechnika Gdańska, 2013.
- [4] Romanoschi S.A., Metcalf J.B.: *Effects of Interface Condition and Horizontal Wheel Loads on the Life of Flexible Pavement Structures*, Transportation Research Record 2001, 1778, 123-131, doi:10.3141/1778-15.
- [5] *Modeling of Asphalt Concrete*, Kim, Y.R. (ed.) McGraw-Hill Construction, ASCE Press; McGraw-Hill: Reston, VA : New York, 2009; ISBN 0-07-146462-X.
- [6] Mazurek G.: *Liniowa i nieliniowa lepkosprężysta charakterystyka mastyksu asfaltowego w zakresie wysokich temperatur eksploatacyjnych nawierzchni*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej: Kielce 2019, ISBN 978-83-65719-60-7.
- [7] Woldekidan M.F.: *Response Modelling of Bitumen, Bituminous Mastic and Mortar*, Technische Universiteit Delft, 2011.
- [8] Owsiak Z., Czapik, P., Zapala-Slaweta J.: *Properties of a Three-Component Mineral Road Binder for Deep-Cold Recycling Technology*, Materials 2020, 13, 3585, doi:10.3390/ma13163585.
- [9] Report TECHMATSTRATEG 1/349326/9/NCBR/2017 *The Innovative Technology Used the Binding Agent Optimization That Provides the Long Service Life of the Recycled Base Course*; National Centre for Research and Development (NCBR), 2018.
- [10] Mazurek G., Buczyński P., Iwański M., Podsiadło M.: *Thermal Analysis-Based Field Validation of the Deformation of a Recycled Base Course Made with Innovative Road Binder*. Materials 2021, 14, 5925, doi:10.3390/ma14205925.
- [11] Wirtgen Group *Cold Recycling Technology*, first edition, Wirtgen GmbH: Windhagen, 2012.
- [12] Iwański M., Mazurek G., Buczyński P.: *Bitumen Foaming Optimisation Process on the Basis of Rheological Properties*. Materials 2018, 11, 1854, doi:10.3390/ma11101854.
- [13] Jaskula P.: *Szczepność warstw asfaltowych w wielowarstwowych układach nawierzchni drogowych*; Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2018; ISBN 978-83-7348-744-4.
- [14] WT-1 Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych 2014.
- [15] Jaskula P.: *Instrukcja laboratoryjnego badania szczepności międzywarstwowej warstw asfaltowych wg metody leutnera i wymagania techniczne szczepności*, 2014.
- [16] Zelelew H.M., Almuntashri A., Agaian S., Papagiannakis A.T.: *An Improved Image Processing Technique for Asphalt Concrete X-Ray CT Images*, Road Materials and Pavement Design 2013, 14, 341-359, doi:10.1080/14680629.2013.794370.
- [17] Zadpoor A.A., Sinke J., Benedictus R.: *The Mechanical Behavior of Adhesively Bonded Tailor-Made Blanks*. International Journal of Adhesion and Adhesives 2009, 29, 558-571, doi:10.1016/j.ijadhadh.2009.01.003.
- [18] Campilho R.D.S.G., de Moura M.F.S.F., Ramantani D.A., Morais J.J.L., Domingues J.J.M.S.: *Tensile Behaviour of Three-Dimensional Carbon-Epoxy Adhesively Bonded Single- and Double-Strap Repairs*, International Journal of Adhesion and Adhesives 2009, 29, 678-686, doi:10.1016/j.ijadhadh.2009.02.004.
- [19] Veryst *MCalibration Software from Veryst Engineering*; 47 Kearney Road, Needham, MA, USA, 2020;
- [20] Gajewski M.: *Badania lepiszczy asfaltowych w reometrze dynamicznego ścinania – relacje konstytutywne lepkosprężystości, hipersprężystości i lepkohipersprężystości. Testing of bituminous binders in dynamic shear rheometer – constitutive relationships for visco-elasticity, hyperelasticity and visco-hyperelasticity*; Prace Naukowe, Politechnika Warszawska Budownictwo, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2018, ISBN 978-83-7814-768-8.
- [21] EN 12697-26 D Bituminous Mixtures – Test Methods – Part 26: Stiffness.
- [22] Kusiak J., Danielewska-Tulecka A., Oprocha P.: *Optymalizacja: wybrane metody z przykładami zastosowań*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009, ISBN 978-83-01-15961-0.

- [23] Yazdani M., Sharifzadeh M., Kamrani K., Ghorbani M.: *Displacement-Based Numerical Back Analysis for Estimation of Rock Mass Parameters in Siah Bisheh Powerhouse Cavern Using Continuum and Discontinuum Approach*. Tunnelling and Underground Space Technology 2012, 28, 41-48, doi:10.1016/j.tust.2011.09.002.
- [24] Smith M.: *ABAQUS/Standard User's Manual, Version 6.9*, Providence, RI: Simulia 2009.
- [25] *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych* (Catalogue of typical flexible and semi-rigid pavements) (in polish) GDDKiA, Warszawa 2014.
- [26] Alvarez A.E., Walubita L.F., Sanchez F.: *Using Fracture Energy to Characterize the Hot Mix Asphalt Cracking Resistance Based on the Direct- Tensile Test*, Revista Facultad de Ingeniería-a Universidad de Antioquia, 2012, 126-137.