

Streszczenie

Praca konstrukcji nawierzchni drogowej w zakładanym okresie użytkowania jest narażona na destrukcyjny wpływ wielu różnorodnych czynników, spośród których niejednokrotnie za kluczową uznaje się podwyższoną wilgotność podłoża i warstw niezwiązanych. Duża wilgotność występująca trwale lub okresowo w podłożu gruntowym i warstwach niezwiązanych może skutkować przyspieszoną degradacją nawierzchni, co wiąże się z obniżeniem komfortu i bezpieczeństwa jazdy, a w krytycznej sytuacji nawet z brakiem możliwości prowadzenia ruchu kołowego. Celem niniejszej pracy była ocena wpływu zmian wilgotności niezwiązanych warstw występujących w konstrukcji nawierzchni drogowej na ich właściwości mechaniczne. Uzyskane wyniki pozwoliły na przedstawienie zakresu możliwych zmian parametrów modelu Coulomba-Mohra, tj. spójności c , kąta tarcia wewnętrznego ϕ , a także modułu E , na skutek wzrostu wilgotności materiałów niezwiązanych, a w dalszej kolejności na redukcję trwałości zmęczeniowej całej konstrukcji nawierzchni drogowej.

Badania własne, stanowiące zasadniczą część niniejszej pracy, poprzedzone zostały wnikliwą analizą literatury krajowej oraz zagranicznej dotyczącej omawianej problematyki wpływu podwyższonej wilgotności na funkcjonowanie podłoża gruntowego i warstw niezwiązanych nawierzchni drogowej. Prowadzone przez autora badania własne bazowały na badaniach terenowych na poligonie zlokalizowanym w województwie małopolskim z wykorzystaniem powszechnie stosowanych metod badawczych i pomiarowych, które uzupełniono badaniami laboratoryjnymi i analizami numerycznymi.

Badania terenowe prowadzono na odcinku prawego pasa ruchu drogi wojewódzkiej nr 780 w Chełmku o długości 190,0 m w okresie od listopada 2016 r. do maja 2018 r. Na podstawie wykonanej identyfikacji grubości warstw konstrukcyjnych na poligonie terenowym zauważono dużą zmienność konstrukcji nawierzchni, co spowodowało zawężenie odcinka obserwacji do 40 m, gdzie konstrukcja nawierzchni cechowała się największą jednorodnością. Na analizowanym odcinku drogi wykonano szereg badań, tj. pomiary równości poprzecznej, pomiary ugięć metodą nieniszczącą z wykorzystaniem ugięciomierzy belkowych oraz FWD, pomiary wahań poziomu zwierciadła wody gruntowej, pomiary płytą VSS oraz lekką płytą dynamiczną, a ponadto także badania laboratoryjne próbek materiałowych. W trakcie ponad półtorarocznego okresu obserwacji zauważono, iż poziom zwierciadła wody gruntowej występował w warstwie podbudowy niezwiązanej lub do 20 cm od spodu konstrukcji nawierzchni drogowej, co powodowało trwale niekorzystne warunki do pracy nawierzchni. Doprowadziło to do znacznego pogorszenia się stanu nawierzchni zarówno przy ocenie wizualnej, jak i ocenie cech funkcjonalnych nawierzchni. W miejscach szybko postępującej degradacji na nawierzchni występowały uszkodzenia w postaci spękań siatkowych, ubytków oraz wykruszeń, a także deformacji trwałych,

a jednocześnie w tych miejscach zarejestrowano wysokie wartości ugięć sprężystych. W analizie wstecznej wysokie wartości ugięć nawierzchni przełożyły się na niższe wartości modułów E poszczególnych warstw konstrukcyjnych.

Drugim etapem badań własnych były badania wykonane w warunkach laboratoryjnych w cylindrze pomiarowym oraz w skrzyni testowej. Badania te miały na celu sprawdzenie skali zmian wartości parametrów modelu konstytutywnego Coulomba-Mohra (E , c , ϕ) wraz ze zwiększającą się wilgotnością wykorzystanych materiałów ziarnistych: piasku średniego i kruszywa dolomitowego. Badania w cylindrze pomiarowym podzielono na dwa etapy: wstępny oraz docelowy. W etapie wstępnym skupiono się na odpowiednim doborze parametrów badanych materiałów oraz parametrów modelu numerycznego z uwzględnieniem efektu skali oraz zasad podobieństwa modelowego. Uwzględnienie wszystkich wniosków z tego etapu badań pozwoliło wykonać próbne obciążenia o charakterze docelowym sumarycznie dla 48 wariantów wilgotności układu dwuwarstwowego złożonego z piasku średniego oraz kruszywa dolomitowego. Badania docelowe w cylindrze pomiarowym wykonano dla materiałów o wilgotności z zakresu od 0,9% do 13,4%. Na podstawie analiz numerycznych w modelu MES stwierdzono, iż zwiększenie wilgotności prowadzi do obniżenia wartości modułów odkształcenia obu testowanych materiałów, a w związku z tym do ich wyraźnego osłabienia.

W ostatnim etapie badań laboratoryjnych próbne obciążenia ośrodków ziarnistych przeprowadzono w skrzyni testowej o wymiarach wewnętrznych 291 cm x 191 cm x 120 cm. Próbne obciążenia wykonano za pomocą płyty statycznej VSS o średnicy 30 cm na układzie dwuwarstwowym złożonym z piasku średniego (70 cm) i kruszywa dolomitowego 0/31,5 mm (20 cm) w zróżnicowanych warunkach wilgotności, tj. dla wilgotności obu materiałów równej ok. 6% oraz w wilgotności powyżej 18%. Do pomiarów przemieszczeń pionowych układu wykorzystano cyfrowe czujniki zegarowe, natomiast odkształcenia poziome na głębokości 10 cm i 20 cm pomierzono z wykorzystaniem czujników światłowodowych oraz reflektometru optycznego OBR4600. Otrzymane wyniki przemieszczeń pionowych oraz odkształceń poziomych wraz z analizami numerycznymi potwierdziły negatywny skutek dużej wilgotności na właściwości mechaniczne obu ośrodków ziarnistych. Zmiana wilgotności piasku o 22,9% oraz kruszywa dolomitowego o 11,9% spowodowała 10-ciokrotny spadek wartości modułu odkształcenia E_1 i 7-miokrotny spadek wartości modułu odkształcenia E_2 oraz powstanie nieciągłości, które przyjęły formę sieci spękań w odległości do 12 cm od krawędzi płyty obciążeniowej.

W literaturze zagranicznej problemy dużej wilgotności niezwiązanych warstw drogowych i podłoża gruntowego są dostrzegane i analizowane, podczas gdy w badaniach krajowych temat ten jest marginalizowany. Uzyskane wyniki mogą przyczynić się do dalszego rozwoju krajowych badań w tej tematyce, które zaś w dalszej perspektywie mogą posłużyć do sprecyzowania wytycznych wspomagających proces racjonalnego zarządzania siecią drogową w kraju.

25.06.2019

Rokitoski

Summary

In expected period of exploitation road pavement structure is exposed to many destructive factors. More than once high moisture content of subsoil and unbound granular layers is considered as the most destructive factor of all. Permanent or periodical high moisture content in subsoil and unbound granular layers causes accelerated pavement deterioration, which is strictly connected with lack of comfort and safety issues, and in critical situation inability to carry on traffic. The main objective of dissertation was to evaluate the influence of variations of moisture content of unbound granular layers in road pavement structures on their mechanical behaviour. On the base of obtained results possible variations of Coulomb-Mohr model parameters (cohesion c , internal friction angle ϕ and E -modulus) of unbound granular layers in different moisture conditions were showed and reduction of road fatigue life was calculated.

Main part of dissertation was focused on own research program consisting of field tests and laboratory tests with numerical analyses. Before starting own research program a penetrating literature review was undertaken. Field tests were executed on a voivodeship road in western part of Lesser Poland using common testing methods and complemented with laboratory tests and numerical analyses.

Field tests were carried out between November 2016 and May 2018 on the 190-meter long right lane of voivodeship road no. 780 in Chełmek. After identification of road pavement layers thicknesses a high variability of road structures was noted. It caused a limitation of observed length of road section to 40 m where road pavement structure was relatively homogeneous. Field tests contained of: control of transversal profile, road pavement deflection measurements with Benckelman Beam and FWD, ground water table variations, LFWD and VSS plate measurements and material laboratory tests. During observations lasting for more than 18 months the ground water table was very high and stabilized maximally 20 cm below the unbound granular layer or strictly in this layer. It caused disadvantageous conditions for pavement performance and led to significant pavement deterioration on the pavement surface as well as "inside" the road pavement structure. On the pavement surface where high values of measured pavement surface deflections there were inventoried alligator cracks, chipping, loss of bitumen and aggregate and structural deformations as well. In back-calculation high values of pavement surface deflections influenced the E -modulus values of layers, which were noticeably lower than in pavement with less dangerous damages.

In the second part of own research program there were undertaken laboratory tests in test cylinder and in test box. The main aim of these tests was to estimate the scale of variations of Coulomb-Mohr parameters as a result of increase of moisture content of unbound materials: medium sand and dolomite aggregate. Laboratory tests in cylinder were divided in two parts: initial and destined tests. The initial part was focused on material parameters selection and building an adequate numerical model including scale effect and principles of model similarity. Results and conclusions from this part allowed

to execute the destined tests for 48 variants of moisture conditions of medium sand and dolomite aggregate. The second part of tests was carried out using granular materials with moisture content between 0,9% to 13,4%. On the basis of numerical analyses using FEM it was stated that increase of moisture content resulted in decrease of E -modulus values of both materials.

In the last stage of laboratory tests trial loadings of granular materials in test box (291 cm x 191 cm x 120 cm) were carried out. Trial loadings were executed on two-layered structure of 70 cm of medium sand and 20 cm of dolomite aggregate 0/31,5 mm using VSS plate equipment and 30 cm diameter VSS plate. Both materials were tested in variable moisture content, i.e. around 6% and over 18%. Vertical deflections were measured with digital deflection sensors and horizontal strains were measured with optical fiber sensors placed 10 cm and 20 cm below the surface and optical backscatter reflectometer OBR4600. Obtained results affirmed the negative effect of high moisture content on granular materials behaviour and Coulomb-Mohr parameters. Increase of moisture content of medium sand equal to 22,9% and simultaneous increase of moisture content of dolomite aggregate equal to 11,9% caused decrease of E_1 modulus by 10 times and decrease of E_2 modulus by 7 times revealing the discontinuity of aggregate's surface around the VSS plate

In foreign literature high moisture content in unbound granular layers and subsoil are recognized and analyzed far more deeply than in Poland. In domestic literature other branches of infrastructural problems are highlighted making the problem of excessive moisture a niche issue. Author hopes that obtained results will help to improve domestic research on that problem and in the long term it will be a slight contribution to define guidelines for maintenance and management of road infrastructure.

25.06.2018
Rokitowski