

**Łukasz Rudziński**

***Modelowanie trwałości nawierzchni drogowych z betonu cementowego***

**STRESZCZENIE**

Celem pracy badawczej była weryfikacja możliwości wykorzystania sztucznych sieci neuronowych (SSN) do prognozowania zmian stanu technicznego nawierzchni z betonu cementowego. Dysertacja zawiera opis i rezultaty badań terenowych, analizy i prognozę zmian stanu technicznego nawierzchni. Przedmiotem badań terenowych była ewidencja uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni drogowych z betonu cementowego przy zastosowaniu zmodyfikowanej metody inwentaryzacji uszkodzeń. Program badań zrealizowano na odcinku autostrady A2 o sumarycznej długości jezdni o nawierzchni z betonu cementowego ok. 202 km i łącznej liczbie 120 438 sztuk płyt betonowych w okresie od roku 2016 do roku 2021. Przeprowadzone badania w ramach zmodyfikowanej oceny cech powierzchniowych nawierzchni umożliwiły analizę każdej pojedynczej płyty betonowej jako niezależnego obiektu oraz identyfikację wszystkich możliwych zmian występujących na jej powierzchni tj. zarówno uszkodzeń jak i dokonanych napraw. Dla tak zgromadzonych i usystematyzowanych danych, w oparciu o przeprowadzone badania, określono ich zmiany jakie zachodzą w dziedzinie czasu. Dokonano również wyodrębnienia odcinków jednorodnych badanej nawierzchni i ich sparometryzowania w ramach przyjętych założeń projektowych: technologii wykonania, zastosowanych materiałów, rzeczywistego obciążenia ruchem oraz warunków klimatycznych. Na podstawie zgromadzonych wyników badań terenowych i dokonanych analiz odcinków jednorodnych przystąpiono do opracowania szeregów czasowych z wykorzystaniem SSN do prognozowania uszkodzeń nawierzchni. W oparciu o narzędzie Statistica opracowano algorytm budowy modelu sieci neuronowych i przeprowadzono analizy wrażliwości zmiennych wejściowych w celu doboru danych istotnie wpływających na jakość uzyskanych modeli. Do prognoz wybrano dwa dostępne w programie typy sztucznych sieci neuronowych: o radialnych funkcjach bazowych (RBF) oraz wielowarstwowe perceptrony (MLP). Przedstawiono zależności pozwalające na określenie danych wejściowych wpływających na prognozowanie poszczególnych typów uszkodzenia nawierzchni. Dokładność wyuczenia, testowania oraz walidacji sieci neuronowych w odniesieniu do indywidualnego typu analizowanego uszkodzenia przeprowadzono za pomocą współczynnika determinacji  $R^2$ . Przyjętym parametrem prognozy była ilość uszkodzonych płyt [%] a parametrem weryfikacyjnym w ramach potwierdzenia stawianej tezy była powierzchnia uszkodzonych płyt [%]. Efektem przeprowadzonych prac jest potwierdzenie skuteczności i bardzo wydajnej metody zastosowania SSN do przewidywania typów uszkodzeń nawierzchni z betonu cementowego w zakresie liczby uszkodzonych płyt na poziomie 94,7% a w odniesieniu do powierzchni uszkodzeń płyt na poziomie 93,3%.

**Łukasz Rudziński**

***Modelling of the durability of cement concrete road pavements***

**ABSTRACT**

The purpose of the research work was to verify the possibility of using Artificial Neural Networks (ANN) to forecast changes in the technical condition of cement concrete pavements. The thesis includes a description and the results of field tests, analyses and a forecast of future changes in the technical condition of pavement. The field tests were carried out to record the surface damages of cement concrete road pavement using a modified method of identification of damages. The research programme was carried out on a section of the A2 motorway with a total length of cement concrete carriageways of approx. 202 km and a total number of 120,438 concrete slabs, in the period between 2016 and 2021. Research carried out for the purposes of the modified assessment of surface properties of pavement allowed the author to analyse each single concrete slab as an independent object and to identify all possible changes in its surface, i.e. both damages as well as any repairs. These collected and catalogued data were then analysed on the basis of the performed tests in terms of changes in data over time. Homogeneous sections of the analysed pavement were also identified and characterised in terms of the implemented design assumptions: the technology of construction, used materials, actual traffic load and weather conditions. The obtained field test results and homogeneous section analyses were then used to develop time series using the ANN technology in order to forecast future pavement damage. An algorithm of the neural network model structure was developed using Statistica software and analyses of the sensitivity of input variables were carried out in order to select data that significantly affects the quality of the developed models. Two types of artificial neural networks available in the software were selected for the forecasts: the Radial Basis Function (RBF) and Multilayer Perceptrons (MLP). Dependencies that enable the identification of input data that affects the forecasting of individual types of pavement damage were demonstrated. The precision of learning, testing and validation of neural networks in the context of the individual types of analysed damages was carried out using the coefficient of determination  $R^2$ . The quantity of damaged slabs [%] was used as the forecast parameter, while the surface of damaged slabs [%] was used as the verification parameter in the context of the confirmation of the expressed argument. The research resulted in the confirmation of the effectiveness and very high efficiency of the ANN technology in forecasting the types of cement concrete pavement damages in terms of the number of damaged slabs at the level of 94.7% and in terms of the surface of damages at the level of 93.3%.