

MALWINA SPŁAWIŃSKA¹⁾PIOTR ZIELIŃSKI²⁾PIOTR BURNOS³⁾

INFLUENCE OF TRAFFIC FLOW VARIABILITY OF HEAVY VEHICLES AND TEMPERATURE ON PAVEMENT FATIGUE LIFE

WPŁYW ZMIENNOŚCI NATĘŻEŃ RUCHU POJAZDÓW CIĘŻKICH ORAZ TEMPERATURY NA TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWĄ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DROGOWEJ

STRESZCZENIE. W pracy przedstawiono wpływ zmienności temperatury i natężeń ruchu pojazdów ciężkich na trwałość zmęczeniową podatnych nawierzchni drogowych (nawierzchnie z podbudową z kruszywa niezwiązanego oraz z betonu asfaltowego). Podziału terytorium Polski na grupy jednorodne ruchowo i temperaturowo dokonano przy łącznym wykorzystaniu metod ilościowych (analiza skupień) oraz jakościowych (przynależność geograficzno-funkcjonalna). Podstawą podziału był kształt profili zmienności temperatury oraz natężeń ruchu w kolejnych miesiącach w roku i w następujących po sobie sezonach. Po określeniu jednorodnych grup wyznaczono dla nich reprezentatywne profile zmienności natężeń ruchu oraz temperatury, które wykorzystano do obliczenia trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni. Trwałość zmęczeniową wyznaczono wykorzystując kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych według Instytutu Asfaltowego. Obliczenia stanu naprężeń i odkształceń w nawierzchni przeprowadzono z wykorzystaniem programu BISAR. Uzyskane wyniki pozwoliły na porównanie oraz wskazanie różnic w otrzymanych trwałościach nawierzchni w zależności od przyjętych wartości temperatury ekwiwalentnej.

SŁOWA KLUCZOWE: analiza skupień, pojazdy ciężkie, trwałość zmęczeniowa nawierzchni drogowej, zmienność natężeń ruchu, zmienność temperatury.

ABSTRACT. The paper presents the effect of temperature variability and traffic flow variability on fatigue life of flexible road pavements (pavements with the subgrade made of unbound aggregates and asphalt concrete). The division of the territory of Poland for the homogeneous groups in terms of movement and temperature was made at the use of quantitative methods (cluster analysis) and qualitative methods (geographical and functional affiliation). The basis for the division was the shape of the profiles of temperature and traffic flow variability in subsequent months of the year and in successive seasons. After determining homogeneous groups, representative profiles of traffic flows and temperature variability were established, which were used to calculate the fatigue life of pavement structure. Fatigue life was determined using the criterion of fatigue of asphalt layers according to the Asphalt Institute. The calculations of stress and strain in the pavement were carried out using the program BISAR. The results have permitted comparison and identification of differences in pavement durability obtained depending on the values of equivalent temperatures.

KEYWORDS: cluster analysis, fatigue life of road pavement, heavy vehicles, temperature variability, traffic flow variability.

DOI: 10.7409/rabdim.015.008

¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej; msplaw@pk.edu.pl (✉)

²⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej; pzielin@pk.edu.pl

³⁾ Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Metrologii i Elektroniki; burnos@agh.edu.pl

1. WPROWADZENIE

Zgodnie z aktualnie obowiązującymi w kraju zaleceniami jako natężenie do projektowania konstrukcji nawierzchni drogi przyjmuje się sumaryczny ruch pojazdów ciężkich w całym okresie projektowym (20 lub 30 lat), w podziale na trzy grupy pojazdów (samochody ciężarowe z – i bez przyczep oraz autobusy) [1]. Pozostałe kategorie pojazdów ze względu na małą masę całkowitą (poniżej 3,5 t) są pomijane. Na podstawie tego podziału wyznacza się tzw. ruch projektowy (sumaryczna liczba równoważnych osi standardowych 100 kN w całym okresie projektowym nawierzchni przypadająca na pas obliczeniowy ruchu L), który stanowi podstawę do ustalenia kategorii ruchu na drodze (KR1 - KR7). Zgodnie z Dziennikiem Ustaw Nr 43 [2] przyjmowano, że rozkład ruchu ciężkiego na poszczególne okresy w roku wynosi 20% dla okresu zimy, 50% dla okresu wiosny i jesieni oraz 30% dla okresu lata (jako średnie wartości temperatury warstw bitumicznych przyjmowano odpowiednio: -2°C , $+10^{\circ}\text{C}$ i $+23^{\circ}\text{C}$). Należy zaznaczyć, że na mocy Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lutego 2015 roku („zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie”) został wykluczony załącznik 5 odnoszący się między innymi do wyżej wymienionych założeń do projektowania, bez podania nowych zalecanych udziałów sezonowych ruchu ciężkiego i opowiadających im wartości temperatury ekwiwalentnej. Podział według [2] pokrywa się w przybliżeniu z rozkładami liczby pojazdów ciężkich otrzymanymi z dziesięciu stacji ważenia pojazdów w ruchu (WIM, ang. *weighing in motion*) [3] oraz otrzymanymi z 34 stacji pomiaru ciągłego Golden River [4]. W [5] wykazano, że we wszystkich przypadkach uzyskuje się zbliżoną trwałość zmęczeniową nawierzchni drogowej podatnej (różnice od 1 do 12 punktów procentowych). W analizach nie brano jednak pod uwagę zmienności temperatury w sezonach (każdorazowo przyjęto średnie wartości temperatury zgodnie z DU Nr 43 [2]). Ponadto nie uwzględniano bardziej szczegółowych charakterystyk zmienności pojazdów ciężkich. Wprawdzie w opracowaniu [3, 5] zamieszczono profile zmienności sezonowej natężeń ruchu, a w pracy [6] wyniki analiz termicznych przeprowadzonych z wykorzystaniem MES (wyznaczenie rozkładów i przebiegów w czasie temperatury wewnątrz asfaltowej nawierzchni drogowej), jednakże w obydwu przypadkach nie sprawdzono ich wpływu na trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni. Analizy trwałości zmęczeniowej asfaltowej nawierzchni drogowej z uwzględnieniem zmienności temperatury (w czasie i z uwagi na głębokość konstrukcji nawierzchni) stanowiły co

1. INTRODUCTION

According to the current recommendations in Poland, as the volume for the design of the road pavement the total heavy vehicle traffic is assumed throughout the project period (20 or 30 years), divided into three groups of vehicles (trucks with and without trailers, and buses) [1]. Other categories of vehicles due to the low total weight (under 3.5 t) are omitted. On the basis of this division the so-called design traffic (the total number of equivalent standard axles 100 kN throughout the design period of pavement per calculation lane of traffic L), which is the basis for determining the traffic category on the road (KR1 - KR7). According to the Journal of Laws No. 43 [2], it has been assumed that the distribution of heavy traffic in particular periods of the year is 20% for the winter, 50% for the spring and autumn and 30% for the summer (the following values of temperature have been adopted as average temperature values of bituminous layers: -2°C , $+10^{\circ}\text{C}$ and $+23^{\circ}\text{C}$). It should be noted that under the Regulation of the Minister of Infrastructure and Development of February 17th, 2015, “amending the ordinance on technical conditions to be met by public roads and their location”, Annex 5 was excluded, which inter alia referred to the aforementioned assumptions for the design, without giving any new recommended seasonal data for heavy traffic and corresponding equivalent temperatures. The division by [2] coincides approximately with the number of heavy vehicles distributions obtained from ten stations for weighing in motion (WIM) [3] and obtained from 34 Golden River stations for continuous traffic measurement [4]. In [5] it has been shown that in all cases a similar fatigue life of the susceptible road pavement was achieved (differences of 1 to 12 percentage points). However, the analyses did not take into account the seasonal temperature variability (each time the average temperature values were assumed in accordance with the Journal of Laws No. 43 [2]). Moreover, more specific characteristics of the variability of heavy vehicles were not taken into account. Although the study [3, 5] contains profiles of seasonal traffic flow variability and the paper [6] presents the results of thermal analyses carried out with the FEM (determination of the distribution and changes in time of the temperature inside the asphalt road pavement), in both cases their effects on fatigue life of pavement structure were not examined. Analyses of the fatigue life of asphalt pavement with regard to temperature variability (over time and according to the depth of pavement structure) were indeed the subject of the paper [7], but they focused mainly on assessing the impact of geosynthetic in the layers of asphalt.

prawda przedmiot pracy [7], ukierunkowane były jednak głównie na ocenę wpływu geosyntetyku w warstwach asfaltowych.

Obliczenia konstrukcji nawierzchni można także prowadzić w odniesieniu do całego roku (wartość temperatury ekwiwalentnej wynosi 10°C według „Katalogu wzmocnień i przebudów nawierzchni podatnych i półsztywnych” [8] i 13°C według „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych” [1]). Przy takim podejściu według [5] uzyskuje się zdecydowanie niższą trwałość zmęczeniową niż w przypadku prowadzenia analiz w odniesieniu do poszczególnych sezonów (w przypadku temperatury ekwiwalentnej 13°C spadek o 23-49 punktów procentowych, w zależności od typu nawierzchni). Ze względu na tak duży wpływ przyjętej temperatury ekwiwalentnej celem niniejszego artykułu jest rozwinięcie dotychczasowych badań dotyczących sezonowej zmienności natężeń ruchu pojazdów ciężkich w połączeniu ze zmiennością temperatury w ciągu roku na trwałość zmęczeniową podatnych nawierzchni drogowych, przykładowo obciążonych ruchem KR4 (konstrukcja nawierzchni z podbudową z kruszywa niezwiązane oraz konstrukcja z górnymi warstwami wykonanymi w całości z mieszanek mineralno-asfaltowych). Dodatkowo wstępnie przeanalizowano wpływ zmienności temperatury i natężeń podczas doby na trwałość zmęczeniową przedmiotowych nawierzchni. Wnioski końcowe dotyczą przede wszystkim porównania obliczonych trwałości zmęczeniowych w zależności od zmienności temperatury i natężeń ruchu pojazdów ciężkich, a także zasadności ujednoczenia temperatury ekwiwalentnej, przyjmowanej do projektowania konstrukcji nawierzchni w Polsce.

2. BAZY DANYCH

2.1. ZMIENNOŚĆ NATĘŻEŃ RUCHU

Do analiz zmienności sezonowej natężeń ruchu wykorzystano dane pochodzące z ciągłego pomiaru ruchu ze stacji Golden River (GR) z lat 2000-2010 (Rys. 1 [9]). Liczba stacji GR w Polsce na przestrzeni lat zmieniała się i w roku 2010 wynosiła 34, co dla ogólnej ówczesnie długości dróg krajowych 17247 km dawało średnio jedną stację na 507,3 km. Do analiz użyto wyłącznie danych posiadających wymaganą liczbę dni pomiarowych tzn. na poziomie każdego miesiąca minimum 7 dni, przy czym reprezentowany musiał być każdy z dni tygodnia. W celu ujednoczenia danych analizy prowadzono w odniesieniu do udziałów natężeń dobowych w średnim dobowym ruchu w roku (SDR). Analizy przeprowadzono w odniesieniu

The calculations of the pavement structure can also be performed for the whole year (the equivalent temperature is 10°C according to the Catalogue of Reinforcements and Rebuilding of Flexible and Semi-Rigid Pavements [8] and 13°C according to the Catalogue of Typical Design of Flexible and Semi-Rigid Pavements [1]). With this approach, according to [5], a much lower fatigue life is obtained than when carrying out the analyses in respect to each season (in the case of the equivalent temperature 13°C , the decrease is 23-49 percentage points, depending on the type of the pavement). Due to such a big impact of adopted equivalent temperature, the aim of this article is to expand the existing research on seasonal variation of heavy vehicle traffic volume in combination with the temperature variation during the year on the fatigue life of flexible road pavement, for example, trafficked with KR4 (the pavement structure with the subgrade of unbound aggregates and the construction with the upper layers made entirely of asphalt mixtures). In addition, the impact of temperature variability as well as traffic volume during the day on the fatigue life of these pavements was initially analysed. The final conclusions relate primarily to the comparison of the calculated fatigue life depending on the temperature variability and heavy traffic flow variability, as well as the legitimacy of unification of equivalent temperature, adopted at designing pavement structures in Poland.

2. DATABASES

2.1. TRAFFIC FLOW VARIABILITY

The analyses of seasonal traffic flow variability were based on the data used from the continuous traffic measurement from the Golden River (GR) station from the years 2000 to 2010 (Fig. 1 [9]). The number of GR stations in Poland had been changing over the years and in 2010 amounted to 34, which at that time for a total length of 17247 km of national roads gave an average of one station per 507.3 km. The analyses used only the data having the requisite number of measurement days, i.e. at the level of each month at least 7 days, whereas each day of the week had to be represented. In order to standardize the data, the analyses were carried out in relation to the input of the daily volume within the annual average daily traffic (AADT). Analyses were carried out in relation to heavy vehicles (including trucks with and without trailers, and buses). Due to the lack of differences demonstrated in [10] because of the directional structure (the same inputs of each month in the AADT, both in relation to a road

do pojazdów ciężkich (łącznie dla samochodów ciężarowych z – i bez przyczep oraz autobusów). Z uwagi na wykazany w [10] brak różnic ze względu na strukturę kierunkową (takie same udziały poszczególnych miesięcy w SDR zarówno w odniesieniu do przekroju drogi jak i poszczególnych kierunków ruchu), analizy prowadzono jedynie w odniesieniu do przekroju drogi.

2.2. ZMIENNOŚĆ TEMPERATURY

Do analiz zmienności temperatury wykorzystano dane zamieszczone w opracowaniu [10], pochodzące z 21 stacji meteorologicznych zlokalizowanych na terenie całego kraju z lat 1981-2010 (Rys. 2). Stacje zostały wyselekcjonowane z bazy danych serwera NCDC (National Climatic Data Center) w taki sposób, aby charakteryzowały się jak największą kompletnością danych temperaturowych oraz równomiernym rozmieszczeniem na terytorium kraju, w tym każdą ze stref wynikających z głębokości przemarzania gruntu według PN-81/B-03020 (0,8 m; 1,0 m; 1,2 m; 1,4 m). Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza zostały przeliczone na temperaturę ekwiwalentną warstw asfaltowych z wykorzystaniem kryteriów zmęzeniowych Instytutu Asfaltowego. Szczegóły analiz zawarte są w [10].

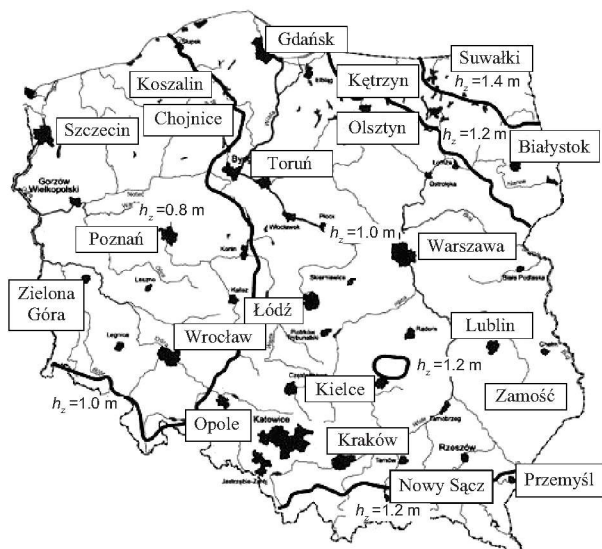


Fig. 2. Map showing the location of meteorological stations [1]
Rys. 2. Mapa lokalizacji stacji meteorologicznych [1]

3. PODZIAŁ TERYTORIUM POLSKI NA GRUPY JEDNORODNE RUCHOWO I TEMPERATUROWO

W celu podziału terytorium Polski na grupy jednorodne ruchowo i temperaturowo, zastosowano procedurę opierającą

cross-section as well as individual directions of traffic), the analyses were carried out only in relation to the road cross-section.

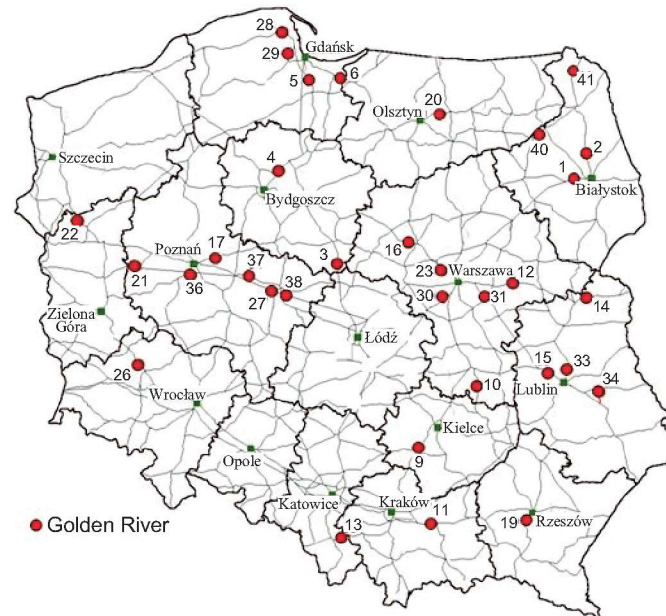


Fig. 1. Map showing the location of continuous measurement stations [9]

Rys. 1. Mapa lokalizacji stacji pomiaru ciągłego [9]

2.2. TEMPERATURE VARIABILITY

The analyses of temperature variability are based on data included in the study [10], obtained from 21 meteorological stations located throughout the country in the years 1981-2010 (Fig. 2). The stations were selected from the database server NCDC (National Climatic Data Centre) in order to characterise the largest temperature data completeness and uniform distribution on the territory of the country, including each zone resulting from the depth of frost penetration according to PN-81/B-03020 (0.8 m, 1.0 m, 1.2 m, 1.4 m). The average monthly air temperature values were converted into equivalent temperature of asphalt layers using the fatigue criteria of the Asphalt Institute. Details of the analyses are presented in [10].

3. THE DIVISION OF THE TERRITORY OF POLAND INTO HOMOGENOUS GROUPS IN TERMS OF TRAFFIC AND TEMPERATURE

In order to make a division of the territory of Poland into homogenous groups in terms of traffic and temperature,

się na łącznym wykorzystaniu metod ilościowych (analiza skupień) oraz jakościowych (przynależność geograficzno-funkcjonalna). Słuszność takiego podejścia potwierdzają dotychczasowe zagraniczne opracowania [11-13]. Podstawową ideą analizy skupień (ang. *cluster analysis*) jest rozdzielenie obiektów do pewnej liczby grup w taki sposób, aby stopień powiązania obiektów z obiektami należącymi do tej samej grupy był jak największy, a z obiektami z pozostałych grup jak najmniejszy [14]. Podziału dokonuje się przy wykorzystaniu dwóch algorytmów:

- algorytmu aglomeracji – w wyniku którego uzyskuje się drzewo hierarchiczne, na podstawie którego formułuje się hipotezę na temat liczby skupień,
- algorytmu grupowania metodą k -średnich – w wyniku którego tworzy się k skupień (liczba skupień zgodna z diagramem drzewa).

W przedmiotowych analizach podziału dokonano na podstawie: kształtu profili zmienności natężeń ruchu w kolejnych miesiącach w roku oraz w kolejnych sezonach (analizy ruchowe); kształtu profili zmienności temperatury w kolejnych miesiącach w roku oraz w kolejnych sezonach (analizy temperatury). W obu przypadkach profile wyznaczono jako wartości średnie miesięczne w analizowanym okresie lub średnie z miesięcy: I-III, IV-VI, VII-IX, X-XII. W algorytmie aglomeracji przy formowaniu skupień wykorzystano metodę pojedynczego wiązania (najbliższego sąsiedztwa), a jako miarę rozbieżności – odległość miejską (Manhattan, City Block). W algorytmie grupowania jako wstępne centra skupień wybrano obserwacje tak, aby zmaksymalizować odległości skupień. W ten sposób utworzono k skupień, w możliwie największym stopniu różniących się od siebie (zasada odwróconej analizy wariancji – przeniesienie obiektów do i z grup w taki sposób, aby otrzymać najbardziej istotne wyniki analizy wariancji). Po określeniu jednorodnych grup (skupień) wyznaczono dla nich reprezentatywne profile zmienności natężeń ruchu lub temperatury. W kolejnym kroku określono czynniki, przy wykorzystaniu których będzie można zidentyfikować poszczególne jednorodne grupy ze względu na przynależność geograficzno-funkcjonalną.

W przypadku zmienności natężeń ruchu w kolejnych miesiącach w roku przyjęto podział sieci dróg krajowych na dwa skupienia (elementy poszczególnych skupień oraz statystyki opisowe takie jak: odchylenie standardowe σ i współczynnik zmienności ruchu V – zamieszczono w [4, 5], wartości średnie każdej z wyróżnionych grup – zamieszczono w dalszej części artykułu). Drogi należące do skupienia 1 (15% przypadków) charakteryzują się zwiększonym ruchem w miesiącach VII - X. Zlokalizowane są głównie

the procedure based on a thorough use of quantitative methods (cluster analysis) and qualitative methods (geographical and functional affiliation) was applied. The validity of this approach is confirmed by the current foreign studies [11-13]. The basic idea of cluster analysis is to separate objects into a certain number of groups in such a way as to ensure that the degree of relationship of objects with the objects belonging to the same group was the largest, and with objects from other groups the least possible [14]. The division is made using two algorithms:

- agglomeration algorithm – as the result of which a hierarchical tree is obtained, on the basis of which a hypothesis is formed about the number of clusters,
- k -means clustering algorithm – as the result of which k clusters are formed (the number of clusters in accordance with a tree diagram).

In these analyses the division was made based on: the shape of the profiles of traffic flow variability in the subsequent months of the year and in subsequent seasons (traffic analyses); the shape of profiles of temperature variability in the subsequent months of the year and in subsequent seasons (temperature analyses). In both cases the profiles were determined as the monthly average in the analysed period or as the average of the months: Jan-March, April-June, July-September, October-December. In the agglomeration algorithm, in the formation of clusters the method of single-linkage clustering (nearest neighbour) was used and as a measure of divergence – a city distance (Manhattan, City Block). In the clustering algorithm, as the initial cluster centres, the observations were selected to maximize the distance of clusters. In this way k clusters were created, which differed from each other in the largest degree (the principle of inverse analysis of variance – the transfer of objects to and from the groups so as to obtain the most significant results of the analysis of variance). After determining homogeneous groups (clusters), the representative profiles were established for the traffic flow variability and temperature variability. In the next step the factors have been determined, at the use of which it is possible to identify individual homogeneous groups according to geographical and functional affiliation.

In the case of the traffic flow variability in the subsequent months of the year, the division of national road network was adopted into two clusters (the elements of individual clusters and descriptive statistics such as: a standard deviation σ and a coefficient of traffic variation V – were presented in [4, 5], the mean values of each of the selected groups – were provided further in this article). The roads belonging to the cluster 1 (15% of cases) have increased

w północnej części Polski (w strefie oddziaływań portów) oraz w strefie przygranicznej. W pozostałej części kraju dominują drogi należące do skupienia 2, charakteryzujące się małymi wahaniami sezonowymi (profil uzyskany w [3] pokrywa się w większej części roku z wartościami średnimi dla skupienia 2). W przypadku zmienności natężeń ruchu w kolejnych sezonach, ze względu na bardzo zbliżone wartości średnich uzyskane dla skupień (różnica nieprzekraczająca 1 punktu procentowego), do dalszych analiz wykorzystano wartości określone łącznie dla całej sieci dróg krajowych. W obu przypadkach, ze względu na wskazaną w pracy [3] zmienność obciążenia nawierzchni drogi pojazdami w ciągu roku, przeliczono uzyskany rozkład liczby pojazdów ciężkich na rozkład liczby równoważnych osi standardowych. Współczynniki konieczne do wykonania przeliczeń wyznaczono na podstawie danych pochodzących z 10 stacji WIM według [3].

W przypadku zmienności temperatury analizy prowadzono dla głębokości przyjmowania temperatury nawierzchni $z = 10,3$ cm (zgodnie z opracowaniem [10]). Na Rys. 3 przedstawiono, przykładowo dla zmienności w kolejnych miesiącach, wykres odległości wiązania względem etapów wiązania (na czerwono zaznaczono liczbę skupień przyjętą do dalszych analiz). Na Rys. 4 i 5 przedstawiono graficzną ilustrację profili zmienności temperatury w kolejnych miesiącach oraz sezonach, uzyskanych ze stacji meteorologicznych (w obu przypadkach te same elementy tworzą dane skupienie). Pomimo stosunkowo niewielkiej różnicy pomiędzy wykresami średnich danego skupienia zdecydowano pozostawić podział terytorium Polski na dwie grupy jednorodnie temperaturowo. Przy takim podejściu maksymalna różnica pomiędzy stacjami wyniosła dla skupienia 1: $2,3^{\circ}\text{C}$ (pomiędzy Gdańskiem i Zamościem) oraz dla skupienia 2: $2,7^{\circ}\text{C}$ (pomiędzy Koszalinem i Przemyślem), przy czym różnicę $< 1,5^{\circ}\text{C}$ uzyskano w około 60% przypadków. Przy łącznej analizie maksymalna różnica wynosi $3,3^{\circ}\text{C}$ (pomiędzy Gdańskiem i Przemyślem), przy czym różnicę $> 2,5^{\circ}\text{C}$ uzyskano w około 45% przypadków. Na Rys. 6 przedstawiono lokalizację poszczególnych grup zmienności na terytorium Polski. Obszar należący do skupienia 1 charakteryzuje się niższymi wartościami temperatury w stosunku do skupienia 2 (średnio o $1,3^{\circ}\text{C}$). Zlokalizowany jest on na terenie województwa warmińsko-mazurskiego, podlaskiego, pomorskiego, świętokrzyskiego oraz lubelskiego. Pozostały obszar kraju należy do skupienia 2. Jak widać, uzyskany podział nie pokrywa się ze strefami wynikającymi z głębokości przemarzania gruntu według PN-81/B-03020.

traffic in the months of July-October. They are located mainly in the northern part of Poland (in the impact zone of harbours) and in the border area. The rest of the country is dominated by the road belonging to cluster 2, characterized by small seasonal fluctuations (the profile obtained in [3] coincides in a greater part of the year with mean values for the cluster 2). In the case of traffic flow variability in successive seasons, due to the very similar mean values obtained for the clusters (a difference of not more than 1 percentage point), for further analyses the values set out together for the entire national road network were used. In both cases, due to the variability of road pavement load with traffic during the year, presented in the paper [3], the obtained distribution of the number of heavy vehicles to the distribution of the number of equivalent standard axles was calculated. The coefficients required to perform calculations were determined on the basis of data from 10 WIM stations according to [3].

In the case of temperature variability, the analyses were performed for the depth of the reception of pavement temperature $z = 10.3$ cm (in accordance with [10]). Fig. 3 shows, for example, for the variability in subsequent months, the diagram of distances of linkage in relation to the linkage stages (red indicates the number of clusters adopted for further analyses). Fig. 4 and 5 show a graphical illustration of the temperature variability profiles in the subsequent months and seasons obtained from meteorological stations (in both cases the same elements form a given cluster). Despite the relatively small difference between the diagrams of an individual cluster means, it has been decided to leave the division of the territory of Poland into two homogeneous groups in terms of temperature. With this approach, the maximum difference between stations for the cluster 1 was 2.3°C (between Gdańsk and Zamość) and for cluster 2 was 2.7°C (between Koszalin and Przemyśl), whereas the difference of $< 1.5^{\circ}\text{C}$ was achieved in about 60% of cases. With combined analysis, the maximum difference was 3.3°C (between Gdańsk and Przemyśl), whereas the difference of $> 2.5^{\circ}\text{C}$ was achieved in about 45% of cases. Fig. 6 shows the location of individual variability groups on the territory of Poland. The area belonging to cluster 1 is characterized by lower temperatures in relation to cluster 2 (with the average of 1.3°C). It is located in the districts of Warmia-Mazury, Podlasie, Pomerania (pol. *Pomorze*), Świętokrzyskie and Lublin. The remaining area of the country belongs to cluster 2. It can be seen that the resulting division does not coincide with zones resulting from the depth of frost penetration according to PN-81/B-03020.

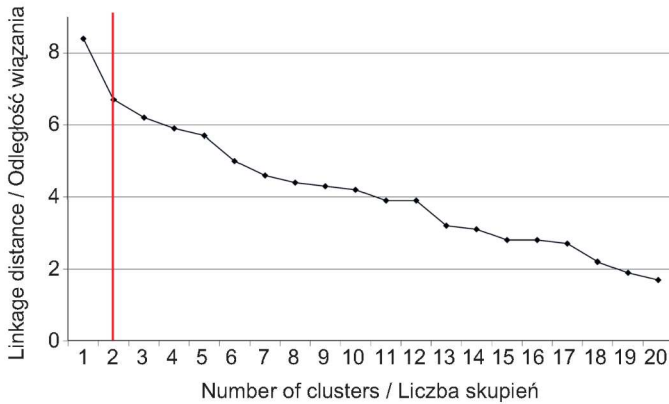


Fig. 3. Diagram presenting the linkage distance in relation to the linkage stages (city distance)
Rys. 3. Wykres odległości wiązania względem etapów wiązania (odległość miejska)

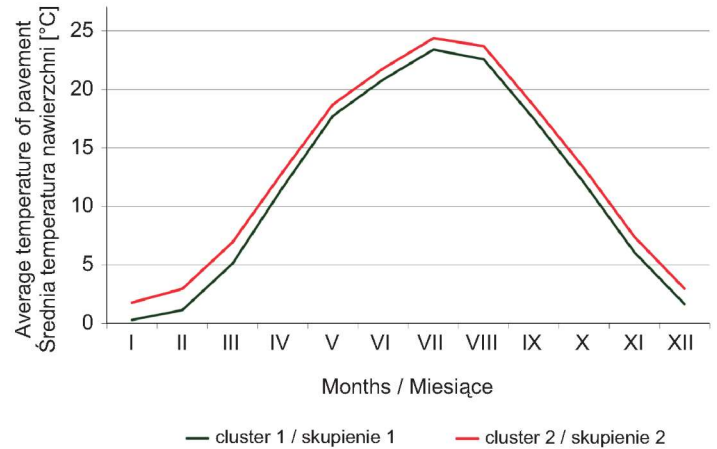


Fig. 4. Profile of temperature variability of asphalt layers in the subsequent months [°C]
Rys. 4. Profil zmienności temperatury warstw asfaltowych w kolejnych miesiącach [°C]

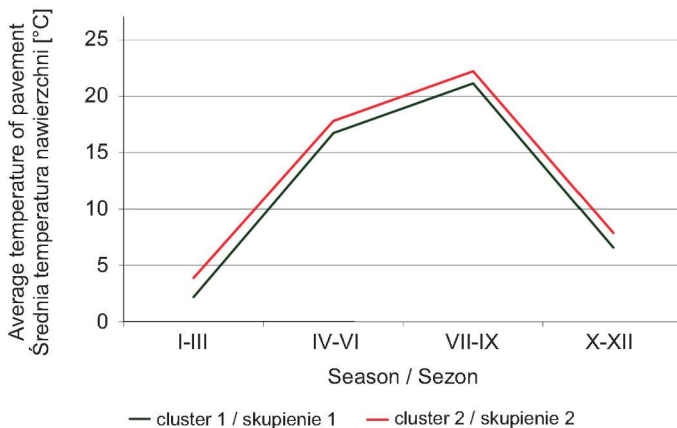


Fig. 5. Profile of temperature variability of asphalt layers in seasons [°C]
Rys. 5. Profil zmienności temperatury warstw asfaltowych w sezonach [°C]

Ponadto przeprowadzono wstępne analizy dotyczące zmienności temperatury podczas doby. W tym celu wykorzystano dane pochodzące z system HS-WIM (lokalizacja – Gardawice), który został zbudowany w Katedrze Metrologii i Elektroniki AGH w Krakowie [15]. Posiada on klasyczną strukturę, w skład której wchodzi dwa polimerowe czujniki nacisku, jedna pętla indukcyjna oraz czujnik temperatury nawierzchni asfaltowej. Dzięki temu możliwe było uzyskanie średniej wartości temperatury godzinowej warstw asfaltowych na głębokości 5 cm (wyniki pomiarów z roku 2007). Na ich podstawie określono przedziały czasu, dla których uzyskano w miarę stabilne wartości temperatury przez

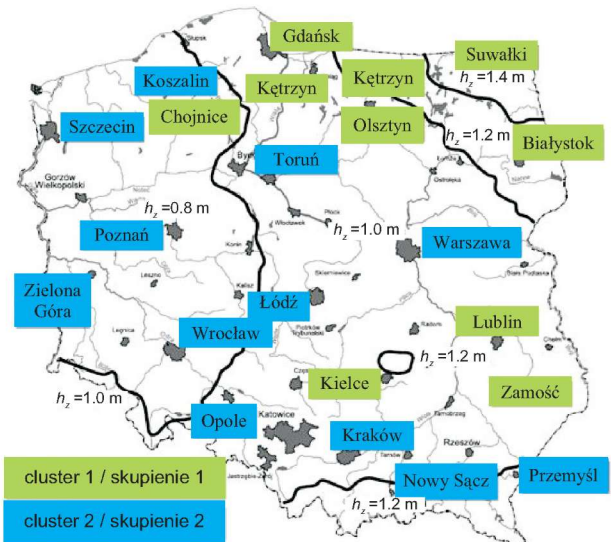


Fig. 6. Location of particular groups of temperature variability on the territory of Poland
Rys. 6. Lokalizacja poszczególnych grup zmienności temperatury na obszarze Polski

In addition, preliminary analyses were carried out on the variability of temperature during the day. For this purpose, the data from the HS-WIM system was used (location – Gardawice), which was built in the Department of Metrology Science and Electronics in Kraków [15]. It has a classical structure, consisting of two polymeric pressure sensors, one induction loop and an asphalt pavement temperature sensor. As a result, it was possible to obtain average hourly temperatures of asphalt layers at a depth of 5 cm (the measurements from 2007). On their basis the time

cały rok (Rys. 7 – temperatura dodatkowo uśredniona dla kolejnych miesięcy). Dla tak uzyskanych przedziałów czasu wyznaczono średnią temperaturę dla każdego z miesięcy (uzyskane wyniki przedstawiono w dalszej części artykułu).

intervals were determined for which relatively stable temperature values throughout the year were obtained (Fig. 7 – temperature values that were further averaged for the subsequent months). For time intervals obtained this way the average temperature for each month was determined (the obtained results are shown in the further part of the article).

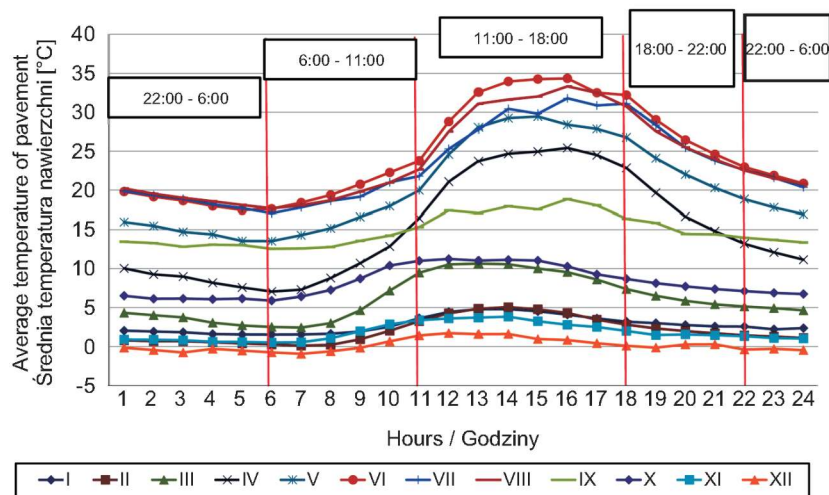


Fig. 7. Profile of temperature variability of asphalt layers during one day – HS-WIM system
Rys. 7. Profil zmienności temperatury warstw asfaltowych w czasie doby – system HS-WIM

4. ANALIZA TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

4.1. DANE WEJŚCIOWE

Do analiz przyjęto dwie konstrukcje nawierzchni podatnej dla KR 4 według [1]: z podbudową z mieszanki niezwiązanej (typ A1) oraz z podbudową z betonu asfaltowego (typ B). Układ warstw nawierzchni oraz skład objętościowy mieszanek mineralno-asfaltowych podano w Tabl. 1. Natomiast moduły sztywności sprężystej warstw asfaltowych przedmiotowych konstrukcji zostały obliczone dla poszczególnych wartości temperatury metodą Shella, z wykorzystaniem programu BANDS. Ekwiwalentną temperaturę przyjęto w odniesieniu do: miesięcy, sezonów i poszczególnych okresów doby w kolejnych miesiącach (Tabl. 2) oraz w odniesieniu do całego roku (+10°C [8] i +13°C [1]).

Do analiz trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni przyjęto następujący rozkład liczby równoważnych osi standardowych L :

A) dla poszczególnych miesięcy:

- skupienie 2: 5,3%; 6,0%; 7,0%; 8,3%; 9,0%; 9,8%; 10,2%; 10,0%; 9,7%; 9,2%; 8,3%; 7,2%;
- skupienie 1: 5,7%; 6,6%; 7,6%; 8,5%; 9,0%; 9,5%; 9,7%; 9,5%; 9,7%; 8,9%; 8,3%; 7,0%;

4. ANALYSIS OF FATIGUE LIFE OF ROAD PAVEMENT

4.1. INPUT DATA

The analysis was based on two constructions of pavement susceptible to KR 4 according to [1]: with the subgrade made of an unbound aggregate (Type A1) and with the subgrade made of asphalt concrete (type B). The structure of pavements and the volumetric composition of mineral-asphalt mixtures are given in Table 1. Whereas the stiffness modules of asphalt layers of these structures were calculated for each temperature by the Shell method, using BANDS software. Values of equivalent temperature were adopted in relation to: months, seasons and the individual periods of the day in the subsequent months (according to Table 2) and in relation to the whole year (+10°C [8] and +13°C [1]).

For the analyses of the fatigue life of road pavement the following distribution of the number of equivalent standard axles L was adopted:

A) for individual months:

- cluster 2: 5.3%; 6.0%; 7.0%; 8.3%; 9.0%; 9.8%; 10.2%; 10.0%; 9.7%; 9.2%; 8.3%; 7.2%;
- cluster 1: 5.7%; 6.6%; 7.6%; 8.5%; 9.0%; 9.5%; 9.7%; 9.5%; 9.7%; 8.9%; 8.3%; 7.0%.

B) dla poszczególnych sezonów (IV-VI i X-XII, VII-IX, I-III):

- 52%, 30%, 18% (wartość średnia dla całej sieci dróg krajowych ze stacji Golden River);
- 50%, 30%, 20% (udziały zgodne z Dziennikiem Ustaw Nr 43 [2]);

C) dla poszczególnych okresów doby (6:00-11:00, 11:00-18:00, 18:00-22:00 i 22:00-6:00) według pracy [4]:

- 30,7%; 43,2%; 11,6% i 14,5% (profil DC_{w-c}-1);
- 24,7%; 37,5%; 15,6% i 22,2% (profil DC_{w-c}-2).

B) for individual seasons (April-June and October-December, July-September, January-March):

- 52%, 30%, 18% (average value for the entire national road network from the Golden River station);
- 50%, 30%, 20% (inputs in accordance with the Journal of Laws No. 43 [2]);

C) for the respective periods of the day (6:00-11:00, 11:00-18:00, 18:00-22:00 and 22:00-6:00) according to the paper [4]:

- 30.7%; 43.2%; 11.6% and 14.5% (profile DC_{w-c}-1);
- 24.7%, 37.5%, 15.6% and 22.2% (profile DC_{w-c}-2).

Table 1. Pavement structures adopted for analyses
Tablica 1. Konstrukcje nawierzchni przyjęte do analiz

Layer / Warstwa	Pavement type / Typ konstrukcji nawierzchni		Binder content / Zawartość asfaltu [%]		Air voids content / Zawartość wolnych przestrzeni [%]
	A1	B	m/m	v/v	
Wearing course / Warstwa ścieralna	4 cm - SMA S 50/70	4 cm - SMA S 50/70	6.4	16.0	3.0
Binding course / Warstwa wiążąca	6 cm - AC W 35/50	8 cm - AC W 35/50	4.2	10.5	6.0
Asphalt base / Podbudowa asfaltowa	10 cm - AC P 35/50	14 cm - AC P 35/50	4.0	10.0	7.0
Granular subbase / Podbudowa z kruszywa	20 cm - MN, $E=400$ MPa	–	–	–	–
Improved subgrade / Podłoże ulepszone	$E_2 = 100$ MPa		–	–	–

Table 2. Equivalent temperature values of asphalt layers [°C] taken for analyses
Tablica 2. Wartości temperatury ekwiwalentnej warstw asfaltowych [°C] przyjęte do analiz

Month / Season / Miesiąc / Sezon	Cluster 1 / Skupienie 1	Cluster 2 / Skupienie 2	Station WIM Gardawice / Stacja WIM Gardawice				
			6:00-11:00	11:00-18:00	18:00-22:00	22:00-6:00	24h
I	0.3	1.8	2.3	4.2	2.7	1.9	2.7
II	1.1	3.0	1.3	4.2	1.9	0.7	2.0
III	5.1	6.9	5.4	9.6	5.7	3.7	6.0
IV	11.6	12.9	11.2	23.9	16.1	9.3	14.8
V	17.6	18.7	16.8	27.8	21.3	15.3	19.8
VI	20.8	21.8	20.9	32.7	25.8	19.2	24.1
VII	23.4	24.4	19.7	29.6	25.0	19.1	22.8
VIII	22.6	23.7	20.0	31.0	25.0	19.0	23.2
IX	17.5	18.6	13.7	17.6	14.7	13.2	14.5
X	12.0	13.3	9.3	10.1	7.2	6.2	8.0
XI	6.1	7.4	2.3	2.9	1.3	0.7	1.7
XII	1.6	3.0	0.3	0.9	-0.1	-0.6	0.1
IV - VI and/i X - XII	11.7	12.8	–	–	–	–	11.4
VII - IX	21.2	22.2	–	–	–	–	20.1
I - III	2.2	3.9	–	–	–	–	3.6

4.2. WYNIKI OBLICZEŃ

Obliczenia stanu naprężeń i odkształceń w nawierzchni przeprowadzono z wykorzystaniem programu BISAR. Wyniki odkształceń rozciągających w spodzie warstw asfaltowych podano w Tabl. 3 (typ A1) i w Tabl. 4 (typ B). Trwałość zmęczeniową przedmiotowych konstrukcji nawierzchni wyznaczono wykorzystując kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych według Instytutu Asfaltowego [16]. Z uwagi na stosunkowo grube warstwy asfaltowe nie analizowano kryteriów nośności podłoża.

4.2. CALCULATION RESULTS

The calculations of stress and strain in the pavement were carried out using the BISAR software. The results of tensile strain at the bottom of the asphalt layers are given in Table 3 (type A1) and in Table 4 (type B). The fatigue life of the road pavement in question was determined using the criterion of fatigue life of asphalt layers according to the Asphalt Institute [16]. Due to the relatively thick layers of asphalt, the bearing capacity of subgrade criteria were not analysed.

Table 3. Results of tensile strain of asphalt layers of A1 type of pavements [-]
Tablica 3. Wyniki odkształceń rozciągających warstw asfaltowych nawierzchni typu A1 [-]

Month / Season Miesiąc / Sezon	Cluster 1 Skupienie 1	Cluster 2 Skupienie 2	Station WIM Gardawice / Stacja WIM Gardawice				
			6:00-11:00	11:00-18:00	18:00-22:00	22:00-6:00	24h
I	58.4	61.4	61.8	66.1	64.0	61.8	63.4
II	59.9	64.0	59.9	66.1	61.8	59.9	61.8
III	68.9	73.0	68.5	79.4	71.0	66.1	71.0
IV	83.7	87.5	82.5	144.3	97.1	79.4	94.0
V	105.5	110.6	101.9	171.4	124.1	92.5	116.7
VI	119.7	126.2	121.0	211.6	155.1	112.3	141.7
VII	137.2	143.9	117.8	186.1	148.2	112.3	132.8
VIII	131.5	138.9	117.8	194.4	148.2	112.3	135.4
IX	104.4	110.1	91.0	107.0	92.5	87.7	90.6
X	84.9	88.7	77.0	79.4	71.9	69.6	74.4
XI	71.0	74.5	61.8	64.0	59.9	59.9	61.2
XII	61.0	64.0	57.9	59.9	57.9	55.8	57.9
IV - VI and/i X - XII	84.2	87.2	–	–	–	–	83.6
VII - IX	122.2	128.7	–	–	–	–	115.4
I - III	62.5	65.9	–	–	–	–	65.2
+10°C [8]			77.6				
+13°C [1]			86.5				

Table 4. Results of tensile strain of asphalt layers of B type pavements [-]
 Tablica 4. Wyniki odkształceń rozciągających warstw asfaltowych nawierzchni typu B [-]

Month / Season Miesiąc / Sezon	Cluster 1 Skupienie 1	Cluster 2 Skupienie 2	Station WIM Gardawice / Stacja WIM Gardawice				
			6:00-11:00	11:00-18:00	18:00-22:00	22:00-6:00	24h
I	43.0	45.6	45.8	49.6	47.7	45.8	47.2
II	44.3	47.7	44.2	49.6	45.8	44.2	45.9
III	51.9	55.6	51.6	61.3	52.5	49.6	52.5
IV	65.3	68.8	64.1	119.8	77,7	61.3	72.6
V	86.0	91.4	82.4	157.8	102.1	73.3	94.3
VI	100.7	107.8	102.1	216.6	136.5	89.8	120.4
VII	115.3	122.9	95.4	175.8	128.0	89.9	110.4
VIII	108.9	117.2	95.4	188.2	128.0	89.9	113.2
IX	84.9	90.8	69.9	84.4	73.3	69.0	71.5
X	66.3	70.0	59.1	61.3	54.5	52.5	56.7
XI	53.9	55.6	45.8	47.7	44.2	44.2	45.3
XII	45.2	47.5	42.6	44.2	42.6	40.9	42.6
IV - VI and/i X - XII	65.7	68.5	–	–	–	–	65.1
VII - IX	99.0	105.9	–	–	–	–	96.0
I - III	46.3	49.4	–	–	–	–	48.7
+10°C [8]	61.3						
+13°C [1]	75.5						

Cząstkowe wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej analizowanych konstrukcji nawierzchni dla poszczególnych miesięcy, okresów roku i pór dnia, a także wartości temperatury ekwiwalentnej dla całego roku według [1] i [8] zestawiono w Tabl. 5 (typ A1) i w Tabl. 6 (typ B). Na podstawie wyników zamieszczonych w tych tablicach obliczono ważone trwałości zmęczeniowe nawierzchni, gdzie wagami były udziały ruchu pojazdów ciężkich:

- w poszczególnych miesiącach (skupienie 1, skupienie 2 i WIM Gardawice);
- w poszczególnych porach dnia dla każdego miesiąca dla stacji WIM Gardawice (6:00-11:00, 11:00-18:00, 18:00-22:00 i 22:00-6:00);
- w poszczególnych porach roku (według DU [2] i Golden River).

Wyniki powyższych analiz dla wybranych typów konstrukcji nawierzchni przedstawiono:

- dla nawierzchni typu A1: na Rys. 8 (dla temperatury miesięcznej z uwzględnieniem także pór dnia) i na Rys. 9 (dla wartości temperatury sezonowej);
- dla nawierzchni typu B: na Rys. 10 (dla temperatury miesięcznej z uwzględnieniem także pór dnia) i na Rys. 11 (dla wartości temperatury sezonowej).

Partial results of calculations of the fatigue life of the road pavement for individual months, periods of the year and times of day, and equivalent temperature values for the entire year, according to [1] and [8], are summarized in Table 5 (type A1) and in Table 6 (type B). On the basis of the results presented in these tables, the calculations were made for weighted fatigue life of road pavements, where the weights were the inputs of heavy vehicle traffic:

- in individual months (cluster 1, cluster 2 and WIM Gardawice);
- at particular times of day for each month for station WIM Gardawice (6:00-11:00, 11:00-18:00, 18:00-22:00 and 22:00-6:00);
- in particular seasons of the year (according to the Journal of Laws [2] and the Golden River).

The results of these analyses for the selected types of pavement structures are presented:

- for the pavement of the A1 type: Fig. 8 (monthly temperature values taking account the times of the day) and Fig. 9 (seasonal temperature values);
- for the pavement of the B type: Fig. 10 (monthly temperature values taking account the times of the day) and Fig. 11 (seasonal temperature values).

Table 5. Results of the fatigue life of asphalt layers of A1 type pavement [million axles 100 kN/line]
 Tablica 5. Wyniki trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych nawierzchni typu A1 [mln osi 100 kN/pas]

Month / Season Miesiąc / Sezon	Cluster 1 Skupienie 1	Cluster 2 Skupienie 2	Station WIM Gardawice / Stacja WIM Gardawice				
			6:00-11:00	11:00-18:00	18:00-22:00	22:00-6:00	24h
I	7.33	6.60	6.49	5.65	6.04	6.49	6.16
II	6.95	6.04	6.95	5.65	6.49	6.95	6.49
III	5.16	4.57	5.23	3.93	4.85	5.65	4.85
IV	3.52	3.21	3.63	1.23	2.63	3.93	2.75
V	2.23	2.03	2.39	0.94	1.63	2.92	1.83
VI	1.80	1.63	1.77	0.72	1.11	1.97	1.31
VII	1.39	1.27	1.80	0.86	1.21	1.97	1.48
VIII	1.51	1.36	1.80	0.80	1.21	1.97	1.43
IX	2.28	2.05	2.95	2.17	2.92	3.20	3.06
X	3.41	3.12	4.19	3.93	4.84	4.85	4.50
XI	4.85	4.40	6.49	6.04	6.95	6.95	6.64
XII	6.67	6.04	7.47	6.95	7.47	8.09	7.47
IV - VI and/i X - XII	3.48	3.24	–	–	–	–	3.53
VII - IX	1.73	1.57	–	–	–	–	1.93
I - III	6.32	5.67	–	–	–	–	5.81
+10°C [8]			3.93				
+13°C [1]			3.20				

Table 6. Results of the fatigue life of asphalt layers of B type pavement [million axles 100 kN/line]
 Tablica 6. Wyniki trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych nawierzchni typu B [mln osi 100 kN/pas]

Month / Season Miesiąc / Sezon	Cluster 1 Skupienie 1	Cluster 2 Skupienie 2	Station WIM Gardawice / Stacja WIM Gardawice				
			6:00-11:00	11:00-18:00	18:00-22:00	22:00-6:00	24h
I	20.08	17.57	17.41	14.53	15.89	14.41	16.27
II	18.75	15.89	18.89	14.53	17.41	18.89	17.28
III	13.11	11.2	13.29	9.21	13.10	14.53	13.1
IV	7.97	7.09	8.33	2.26	5.50	9.21	6.44
V	4.37	3.8	4.81	1.24	3.09	6.29	3.69
VI	3.18	2.74	3.09	0.66	1.70	4.11	2.24
VII	2.46	2.14	3.59	1.04	1.95	4.11	2.72
VIII	2.8	2.38	3.59	0.89	1.95	4.11	2.58
IX	4.5	3.86	7.03	4.73	6.29	7.04	6.67
X	7.71	6.8	10.02	9.21	12.04	13.10	11
XI	12.01	11.5	17.41	15.89	18.89	18.89	18.86
XII	17.9	16.11	20.51	18.89	20.51	22.49	20.51
IV - VI and/i X - XII	7.87	7.16	–	–	–	–	8.05
VII - IX	3.47	2.98	–	–	–	–	3.54
I - III	16.97	14.64	–	–	–	–	15.17
+10°C [8]			9.22				
+13°C [1]			5.23				

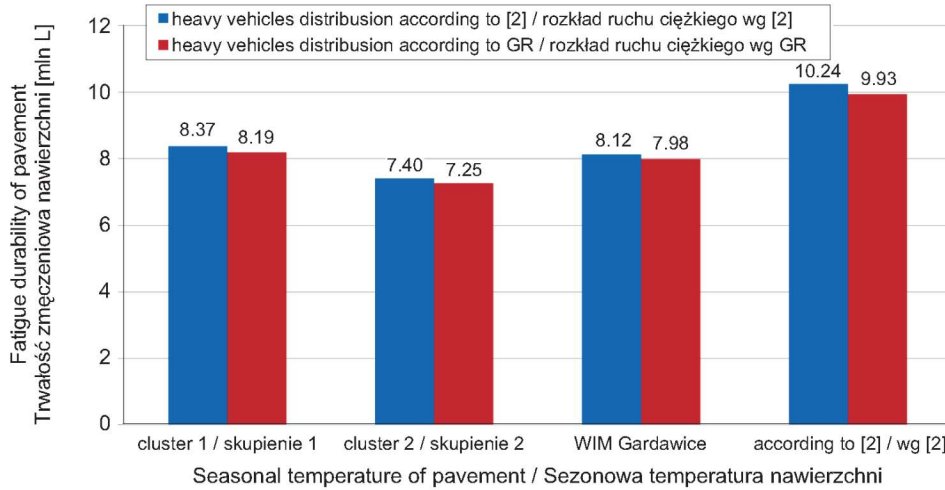


Fig. 8. Fatigue durability of A1 type pavement for different values of monthly temperature
Rys. 8. Trwałości zmęczeniowe nawierzchni typu A1 dla różnych wartości temperatury miesięcznej

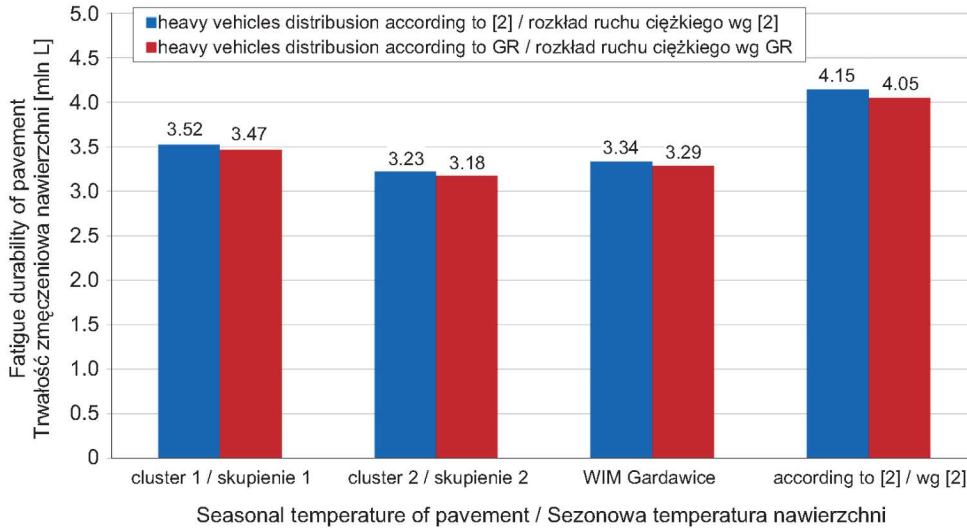


Fig. 9. Fatigue durability of A1 type pavement for different values of seasonal temperature
Rys. 9. Trwałości zmęczeniowe nawierzchni typu A1 dla różnych wartości temperatury sezonowej

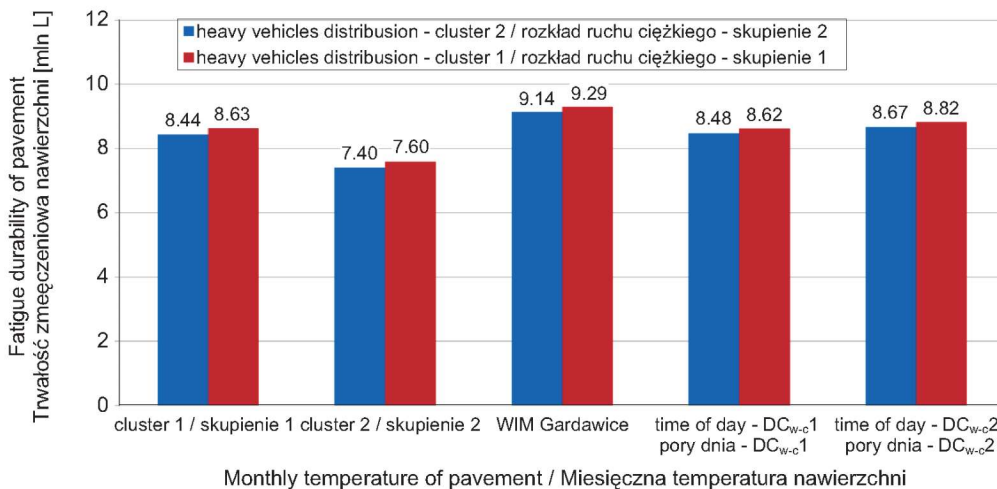


Fig. 10. Fatigue durability of B type pavement for different values of monthly temperature
Rys. 10. Trwałości zmęczeniowe nawierzchni typu B dla różnych wartości temperatury miesięcznej

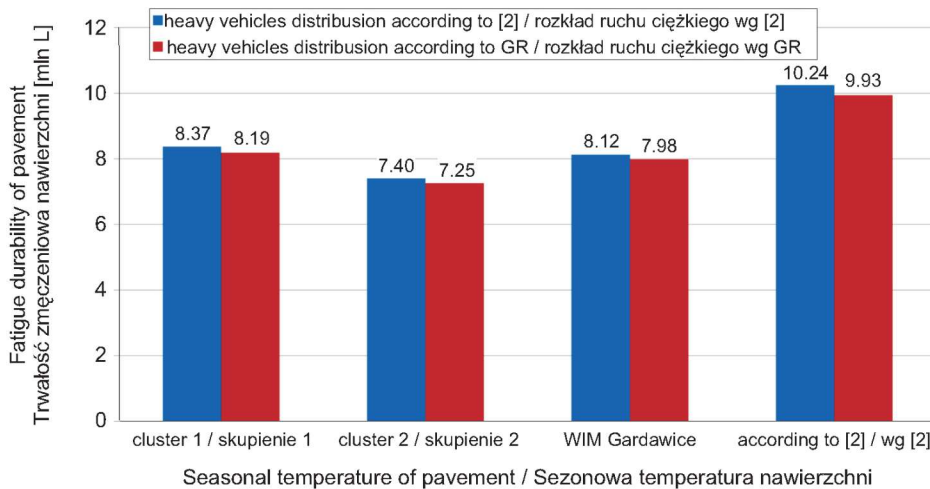


Fig. 11. Fatigue durability of B type pavement for different values of seasonal temperature
Rys. 11. Trwałości zmęczeniowe nawierzchni typu B dla różnych wartości temperatury sezonowej

5. WNIOSKI

- 1) Uzyskane wyniki wskazują na znikomy wpływ badanych empirycznych rozkładów ruchu ciężkiego w poszczególnych okresach (pory dnia, miesiące, sezony) na wyznaczone trwałości zmęczeniowe analizowanych konstrukcji nawierzchni, nieprzekraczający 3%. W praktyce oznacza to możliwość wykorzystywania jednego uśrednionego rozkładu ruchu ciężkiego w poszczególnych okresach analizy do wyznaczania trwałości zmęczeniowej nawierzchni.
- 2) Większe różnice zaobserwowano analizując różne rozkłady temperatury w poszczególnych lokalizacjach, które wyniosły:
 - dla analiz sezonowych do 7% (dla nawierzchni typu A1) i do 9,5% (dla nawierzchni typu B); wyższe trwałości uzyskano dla lokalizacji według skupienia 1;
 - dla analiz miesięcznych do 12% (dla nawierzchni typu A1) i do 17% (dla nawierzchni typu B), wyższe trwałości uzyskano dla stacji WIM Gardawice;
 - trwałość nawierzchni wyznaczona w analizach uwzględniających podział ruchu ciężkiego na 4 okresy doby jest o 4 ÷ 6,5% niższa w stosunku do wyników uzyskanych dla analiz miesięcznych; podobne wyniki świadczące o małym wpływie godzinowych zmian temperatury na trwałość zmęczeniową nawierzchni uzyskano w pracy [17];
 - najwyższą trwałość nawierzchni uzyskano dla obliczeń prowadzonych dla temperatury sezonowej według nieaktualnego już Rozporządzenia podanego w DU [2];

5. CONCLUSIONS

- 1) The obtained results indicate a scant influence of the examined empirical distributions of heavy traffic in different periods (the time of day, months, seasons) on designated fatigue life of the analysed road pavements that does not exceed 3%. In practice, this signifies the possibility to use one averaged heavy traffic distribution over the individual periods of analysis to determine the fatigue life of the pavement.
- 2) Greater differences were observed in analysing different temperature distributions in different locations, which were:
 - for the seasonal analyses up to 7% (for the A1 type pavement) and 9.5% (for the B type pavement); greater results were achieved for locations according to cluster 1;
 - for the monthly analyses up to 12% (for the A1 type pavement) and 17% (for the B type pavement); greater results were achieved for the station WIM Gardawice;
 - the fatigue life of road pavement determined in the analyses taking into account heavy traffic distribution to 4 periods of the day is 4 ÷ 6.5% lower compared to the results obtained for the monthly analyses; similar results showing a low hourly impact of temperature changes on the fatigue life of road pavement were obtained in [17];
 - the highest fatigue life of the road pavement was obtained for the calculations carried out for the seasonal temperatures according to the outdated Ordinance specified in the Journal of Laws [2];

- wyniki obliczeń dla temperatury ekwiwalentnej przyjmowanej według [8] tj. 10°C dają trwałość niższą w stosunku do obliczonej według DU [2] o około 5% (dla nawierzchni typu A1) i o około 10% (dla nawierzchni typu B);
 - dla temperatury ekwiwalentnej przyjmowanej według [1] tj. 13°C wyznaczono najniższą trwałość zmęczenia nawierzchni, dającą spadek w stosunku do obliczonej według DU [2] o około 23% (dla nawierzchni typu A1) i o około 50% (dla nawierzchni typu B).
- 3) Podsumowując powyższe spostrzeżenia, ze względu na wpływ rozkładu temperatury zaleca się wykonywanie obliczeń trwałości zmęczenia nawierzchni w rozbiću na poszczególne sezony, jednak temperatury dla tych sezonów powinny być przyjęte na podstawie danych empirycznych, np. według profili temperatury pomierzonych w systemie WIM lub podanych w pracy [10]. Biorąc do obliczeń temperatury sezonowe według DU [2] uzyskuje się trwałości zmęczenia znacznie zawyżone w stosunku do obliczonych dla empirycznych rozkładów temperatury i obciążenia ruchem.
 - 4) W przypadku prowadzenia analiz dla temperatury ekwiwalentnej dla całego roku przyjęcie tej temperatury według nowego „Katalogu typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych” [1] tj. 13°C daje wyniki trwałości zmęczenia nawierzchni niższe niż dla temperatury równoważnej 10°C według [8] odpowiednio: o 22% (dla nawierzchni typu A1) i o 76% (dla nawierzchni typu B).
- the results of calculations for equivalent temperature adopted according to [8], i.e. 10°C, give a lower fatigue life in relation to the calculated one according to the Journal of Laws [2] by about 5% (for the A1 type of pavement) and about 10% (for the B type of pavement);
 - for equivalent temperature adopted according to [1], i.e. 13°C, give a lower fatigue life of the road pavement resulting in a decrease in relation to the one calculated according to the Journal of Laws [2] by about 23% (for the A1 type of pavement) and about 50% (for the B type of pavement).
- 3) To summarize the above observations, due to the influence of the temperature distribution, it is recommended to perform calculations of fatigue life of the road pavement for individual seasons. However, temperatures for these seasons should be adopted on the basis of empirical data, e.g. by temperature profiles measured in the WIM system or specified in [10]. Taking for the calculations the seasonal temperature according to the Journal of Laws [2] in order to obtain fatigue life results which are significantly overstated in relation to the ones that were calculated for empirical temperature distributions and the traffic load.
 - 4) In the case of conducting analyses for the equivalent temperature for the entire year, the adoption of this temperature according to a new “Catalogue of Typical Flexible and Semi-Rigid Pavements” [1], i.e. 13°C, gives the results of fatigue life of the road pavement that are lower than for the equivalent temperature 10°C according to [8], respectively: by 22% (for the A1 type of pavement) and by 76% (for the B type pavement).

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. GDDP, Warszawa, 2014
- [2] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw Nr 43, Warszawa, 1999
- [3] Ryś D., Judycki J., Jaskuła P.: Analiza rocznych zmian w ruchu ciężkim na podstawie danych ze stacji ważenia pojazdów (WIM) w Polsce. Drogownictwo, 11, 2014, 361-367
- [4] Splawińska M.: Charakterystyki zmienności natężeń ruchu i ich wpływ na eksploatację wybranych obiektów drogowych. Praca doktorska, Kraków, 2013
- [5] Splawińska M., Zieliński P.: Wpływ zmienności natężeń ruchu pojazdów ciężkich na trwałość zmęczenia konstrukcji nawierzchni drogowej. Drogownictwo, 3, 2015, 98-104
- [6] Górszczyk J., Grzybowska W.: Analizy termiczne asfaltowej nawierzchni drogowej z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych. Roads and Bridges - Drogi i Mosty, 10, 4, 2011, 7-30
- [7] Górszczyk J., Gaca S.: The Influence of the Carbo-Glass Geogrid-Reinforcement on the Fatigue Life of the Asphalt Pavement Structure. Archives of Civil Engineering, 58, 1, 2012, 97-113
- [8] Katalog wzmocnień i przebudów nawierzchni podatnych i półsztywnych. IBDiM, Warszawa, 2013

- [9] Zbieranie, archiwizacja i analizy danych ze stacji ciągłych pomiarów ruchu w roku 2008. Etap III. Analiza roczna i edycja wyników pomiarów prowadzonych w stacjach GR i PAT w roku 2009. Transprojekt - Warszawa Sp. z o.o., Warszawa, 2010
- [10] *Judycki J., Jaskuła P., Pszczola M., Rys D., Jaczewski M., Alenowicz J., Dołżycki B., Stiens M.*: Analizy i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. WKiŁ, Warszawa, 2014
- [11] Federal Highway Administration (FHWA). Traffic Monitoring Guide, 2013
- [12] *Pinkofsky L.*: Typisierung von Ganglinien der Verkehrsstärke Und ihre Eignung zur Modellierung der Verkehrsnachfrage. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, Aachen, 2006
- [13] AASHTO Guidelines for Traffic Data Programs. American Association of State Highway and Transportation Officials, 1992
- [14] *Stanisz A.*: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. StatSoft, Kraków, 2007
- [15] *Burnos P., Gajda J., Piwowar P., Sroka R., Stencel M, Zeglen T.*: Accurate Weighing of Moving Vehicles. Metrology and Measurement Systems, **14**, 4, 2007, 507-516
- [16] Research and development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1). Ninth edition. The Asphalt Institute, Research Report No. 82-2, RR-82-2, August 1982
- [17] *Celauro C.*: Influence of the Hourly Variation of Temperature on the Estimation of Fatigue Damage and Rutting in Flexible Pavement Design. International Journal of Pavement Engineering, **5**, 4, 2004, 221-231