

MALWINA SPŁAWIŃSKA<sup>1)</sup>

## METHODOLOGY FOR DETERMINING TRAFFIC VOLUME FOR THE ANALYSIS OF ROADS EFFICIENCY

## METODOLOGIA WYZNACZANIA NATĘŻEŃ MIARODAJNYCH DO ANALIZY SPRAWNOŚCI DRÓG

**STRESZCZENIE.** W pracy przedstawiono wyniki analiz rozkładu dwustu największych godzinowych natężeń w roku, wykorzystywanych do wyznaczania natężenia miarodajnego  $Q_m$  do badania sprawności dróg. Na tej podstawie opracowano trzy równania funkcji potęgowej, umożliwiające szacowanie natężenia odpowiadającego dowolnej szczytowej godzinie w roku, w zależności od wielkości średniego dobowego ruchu  $SDR$  (poniżej lub powyżej 25000 P/d), udziału pojazdów ciężkich (poniżej lub powyżej 30%) oraz typu przekroju poprzecznego (1×2 lub 1×4/2×2). W przypadku dróg dwupasowych dwukierunkowych (1×2) analizie poddano także zmienność rozkładu kierunkowego oraz dzień tygodnia, w którym występują największe natężenia w roku. Pozwoliło to ostatecznie na opracowanie metodologii szacowania miarodajnego natężenia ruchu  $Q_m$ , w tym na przejście z wartości wyznaczonych dla przekroju drogi na poszczególne kierunki ruchu. Przedstawiono także przykład obliczeniowy, ilustrujący jak w praktyczny sposób wykorzystać przedstawione wyniki badań.

**SŁOWA KLUCZOWE:** drogi, miarodajne natężenie ruchu ( $Q_m$ ), poziom swobody ruchu (PSR), rozkład kierunkowy ruchu, średni dobowy ruch (SDR).

**ABSTRACT.** The present paper outlines the results of analyses of two hundred highest hourly volumes in a year, used for determining designed hourly volumes  $DHV$  to test road efficiency. Basing on them, three equations of the power function were elaborated. They enabled the assessment of traffic volume corresponding to a randomly chosen peak-hour in a year, depending on the value of annual average daily traffic  $AADT$  (below or above 25000 V/d), the share of heavy vehicles (below or above 30%), and the type of cross-section (1×2 or 1×4/2×2). In case of two-lane roads (1×2) the variation of direction distribution and per weekday with the highest hourly volumes in a year were analysed. As a result, it allowed for working out the methodology of estimating design hourly volume  $DHV$ , including a transition from values determined for road cross-section to individual road traffic directions. Finally, a calculation example, illustrating a practical method for making good use of obtained test results, was presented.

**KEYWORDS:** annual average daily traffic (AADT), design hourly volume (DHV), directional traffic distribution, level-of-service (LOS), roads.

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej; msplaw@pk.edu.pl

## 1. WPROWADZENIE

Zgodnie z aktualnie obowiązującymi w Polsce zaleceniami, jako natężenie miarodajne  $Q_m$  do projektowania i oceny warunków ruchu głównie na drogach zamiejskich, przyjmuje się 50-tą (ewentualnie 30-tą, 100-tą lub 150-tą) wartość z największych godzinowych natężeń w roku prognozy w przypadku dróg o wyróżnionym charakterze ruchu (gospodarczym, rekreacyjnym, turystycznym). Tym samym dopuszcza się przeciążenie ruchem danej drogi w ciągu 49 (ewentualnie 29, 99, 149) godz. w roku. Projektowanie na największe natężenia ruchu w ciągu roku byłoby ekonomicznie nieuzasadnione i prowadziłyby do dużych rezerw przepustowości. W praktyce, wartość  $Q_m$  wyznacza się najczęściej przy wykorzystaniu metody wskaźnikowej jako procentowy udział w odniesieniu do prognozowanego Średniego Dobowego Ruchu w roku  $SDR$ . Opracowanie [1] podaje dla sieci dróg krajowych (DK) w Polsce odpowiedni udział 30-tej, 50-tej, 100-tej i 150-tej godz. w  $SDR$ , w zależności od charakteru ruchu i wielkości  $SDR$  (udziały publikowane są raz na pięć lat). Niestety nie prowadzi się analiz dotyczących ich zmienności w kolejnych latach. Trudno zatem określić ich przydatność w latach, w których nie był wykonywany Generalny Pomiar Ruchu, w tym w roku prognozy. W Stanach Zjednoczonych za natężenie miarodajne uznaje się natężenie 30 godz. w roku. W 1965 roku zostały opublikowane w „A Policy on Geometric Design of Rural Highways from the American Association of State Highway Official” (AASHTO) podstawy tego wyboru, które są wciąż przedrukowywane w kolejnych wersjach wytycznych (brak analogicznych publikacji podstaw wyboru 50 godz. w warunkach polskich). Dla typowej drogi zamiejskiej, w 30 godz. w roku następuje zmiana tempa spadku udziałów największych godzinowych natężeń w  $SDR$   $u_{nthHV}$ . Krzywa na lewo od pozycji odpowiadającej 30 godz. ma przebieg bardzo stromy, w związku z czym pozycje o większych wartościach w szeregu malejącym znacznie przekraczają  $Q_m$  (natężenie w 1 godz. jest o około 67% większe od natężenia w 30 godz.). Na prawo (od pozycji 30 godz.) krzywa przebiega bardziej płasko, a wartości z wielu godzin są niewiele mniejsze od natężenia 30 godz. Jednakże nieliczne obecne badania w tym zakresie wskazują, że dla typowych dróg zamiejskich zmiana tempa spadku  $u_{nthHV}$  następuje na niższej pozycji w szeregu malejącym natężeń ruchu [2-4]. W pracy [4] określono na podstawie wartości odchylenia standardowego różnic procentowych, wyznaczonych ze skokiem 5 godz. (pomiędzy udziałem natężenia w  $SDR$  z 1-szej i z 5-tej, 6-tej i 10-tej godz. itd., aż do różnicy pomiędzy 96-tą i 100-tą godz.), że w blisko 80% przypadków zmiana tempa spadku  $u_{nthHV}$  występuje w pierwszym

## 1. INTRODUCTION

According to the current Polish recommendations, the 50<sup>th</sup> (alternatively 30<sup>th</sup>, 100<sup>th</sup> or 150<sup>th</sup>) value of the highest hourly traffic volumes is adopted for road designing and assessment of traffic conditions as a designed hourly volume  $DHV$  for roads of a distinctive traffic character (economic, recreational, tourist). Therefore, yearly traffic overloading of a given road within 49 (possibly 29, 99, 149) hours is acceptable. Designing with the idea of the highest traffic volumes in a year would be economically unjustified, and it would lead to great traffic capacity reserves. Practically, the value of  $DHV$  is most frequently determined with the use of the index method as a percentage share in relation to the forecasted Annual Average Daily Traffic  $AADT$ . The study [1] states for the national road network (DK) in Poland the appropriate share of the 30<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, 100<sup>th</sup>, and 150<sup>th</sup> hr in  $AADT$ , depending on the traffic character and level of  $AADT$  (shares are published once every five years). Unfortunately, analyses regarding their variability in consecutive years have not been carried out. Therefore, it is hard to determine their usefulness in the years different from those conducted within the General Traffic Census, including the year of forecast. In the United States the traffic volume of 30 hr per year is regarded as reliable. The rudiments of that selection can be found in “A Policy on Geometric Design of Rural Highways from the American Association of State Highway Official” (AASHTO) published in 1965. They are still reprinted in the successive versions of guidelines (similar publications of basis for selection of 50 hr in Polish conditions are missing). For a typical rural road there is a change to downward trend of shares of the highest hourly traffic volumes in  $AADT$   $u_{nthHV}$  during the 30 hr of the year. The curve on the left of the position corresponding to the 30 hr has a very steep running. That is why the positions with higher values in the decrease series substantially exceed  $DHV$  (the traffic volume in 1 hr is about 67% higher than the traffic volume in 30 hr). On the right of the position typical for 30 hr the curve proceeds more flat, and the values of many hours are a little lower than the volume of 30 hr. However, rare cases of current researches into that scope have pointed out that in case of typical rural roads the change to downward trend  $u_{nthHV}$  comes on the lower position of decrease series of the traffic intensity [2-4]. It was determined in the paper [4] on the basis of the value of standard deviation of percentage differences determined with a pitch of 5 hr (between the share of the volume in  $AADT$  from the 1<sup>st</sup>, 5<sup>th</sup>, 6<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> hr up to the difference between the 96<sup>th</sup> and 100<sup>th</sup> hr),

10 godz. (zmian  $\sigma > 0,5\%$  na  $\sigma \leq 0,5\%$ ). W pracy [2] na podstawie maksymalnej różnicy pomiędzy współczynnikiem dopasowania linii trendu  $R^2$  do danych pochodzących z podziału szeregu malejącego na dwie rozłączne grupy (w celu uzyskania liniowej zależności przekształcono szereg poprzez zlogarytmowanie wartości) określono, że zmiana tempa spadku  $u_{nthHV}$  mieści się pomiędzy 14 a 24 godz. Niestety zarówno tradycyjna wskaźnikowa metoda szacowania  $Q_m$  [1, 3], jak i bardziej zaawansowane techniki wykorzystujące między innymi model sztucznych sieci neuronowych [5, 6] czy algorytmy genetyczne [7], sprowadzają się do określenia natężenia odpowiadającego 30-tej (ewentualnie 50-tej, 100-tej lub 150-tej) godzinie w roku. Nie ma zatem możliwości wyznaczenia natężenia ruchu odpowiadającego dowolnej szczytowej godzinie w roku, dostosowanej przykładowo do kształtu profili zmienności natężeń ruchu w czasie (zmienność dobową, tygodniową, sezonową). Wprawdzie w pracy [2] opracowano cztery równania regresji liniowej, umożliwiające szacowanie natężenia w dowolnej szczytowej godzinie w roku (warianty uzależnione od wielkości  $SDR$ ), jednakże wstępne analizy przeprowadzone w [4] wskazują, że w warunkach polskich lepsze będzie zastosowanie funkcji potęgowej. Ponadto opracowanie to nie podaje w jaki sposób przejść z natężeń wyznaczonych w przekroju drogi na poszczególne kierunki ruchu. Celem artykułu jest zatem opracowanie metodologii szacowania natężenia w dowolnej szczytowej godzinie w roku na polskich drogach zamiejskich, w tym w przypadku dróg dwupasmowych dwukierunkowych przy uwzględnieniu rozkładu kierunkowego ruchu. Przedstawiony na końcu przykład ilustruje jak w praktyczny sposób wykorzystać przedstawione wyniki badań.

## 2. BAZY DANYCH

Do analiz przedziałów największych natężeń z okresu roku wykorzystano dane pochodzące z ciągłego pomiaru ruchu ze stacji Golden River z lat 2003-2010, zlokalizowanych na terytorium Polski (Rys. 1). Należy nadmienić, że najpowszechniej stosowane rejestratory Marksman 660 ulegają awariom, a uzyskane z nich dane są niepełne i obciążone błędami. Z 16-to godz. uzupełniających pomiarów ręcznych, które przeprowadza się dwukrotnie w ciągu roku (maj i wrzesień) wynika, że automatyczne klasyfikowanie odbywa się w sposób nieprawidłowy [8]. Dane wynikowe mogą być wykorzystane przy uproszczeniu podziału pojazdów samochodowych na pojazdy lekkie i pojazdy ciężkie, co jest wystarczające do określenia udziału tych ostatnich. Jako że analizowane modele odnoszą się do ogółu pojazdów, nie wpływa to na dokładność szacunków  $Q_m$ . W celu

that in almost 80% of cases the change to downward trend  $u_{nthHV}$  develops in the first 10 hr (the change of  $\sigma > 0.5\%$  to  $\sigma \leq 0.5\%$ ). It was proved in the paper [2], basing on the maximum difference between the adjustment coefficient of trend line  $R^2$  to data coming from the division of decreasing series into two separate groups (in order to achieve a linear dependency the series was transformed finding the logarithms of values), that the change to downward trend  $u_{nthHV}$  occurs between 14 and 24 hr. Unfortunately, both the traditional coefficient method for assessment  $DHV$  ([1, 3]), and more advanced techniques using among others the model of artificial neuron network [5, 6] or genetic algorithms [7], come down to determining the volume corresponding to the 30<sup>th</sup> (possibly the 50<sup>th</sup>, 100<sup>th</sup> or 150<sup>th</sup>) hr of the year. Accordingly, it is impossible to determine the traffic volume related to any peak-hour in a year, as an example adjusted to the profile shape of temporal variability of traffic intensity (the daily/weekly/seasonal variation). Admittedly, in the paper [2] four equations of linear regression were elaborated, enabling assessment of any peak-hour in a year (variants depending on the level of  $AADT$ ). However, some initial analyses presented in [4] indicate that the application of power function would be better in Polish conditions. Moreover, that study does not present the ways of transition from volumes determined at a road cross-section to individual traffic directions. Therefore, the paper is aimed at elaborating the methodology for assessment of traffic volume in any peak-hour in a year on the Polish rural roads, including the case of two-lane roads, taking into consideration the directional distribution of traffic. The example presented at the end illustrates a practical way of applying the presented test results.

## 2. DATA BASES

Data coming from the continuous traffic measurement at the Golden River station in the years 2003-2010, located in Poland (Fig. 1), was used for analyses of the highest traffic volume ranges. It should be mentioned that the most universally applied recorders Marksman 660 are subjects of failures, and data acquired with the use of them is either incomplete or burdened with errors. It results from the 16 hr manual supplementary measurements performed twice a year (in May and September) that the automatic classification has been carried out improperly [8]. Resultant data may be used to simplify the division of motor vehicles into light and heavy ones, what is sufficient for determining the share of the latest. It has no impact on the assessment accuracy of  $DHV$  since the

uniknięcia przypadkowych wpływów (przebudowy, budowy, remonty drogi lub na sąsiednich odcinkach dróg), zastosowano procedurę oceny wiarygodności danych, tzw. metodę typowych profili wahań ruchu (procedura zalecana przez BAST). Weryfikację przeprowadzono na podstawie uśrednionych wartości udziałów natężeń dobowych poszczególnych miesięcy w *SDR* (tzw. wskaźniki zmienności sezonowej). Na podstawie porównań profili wahań ruchu w kolejnych latach określono dane niewiarygodne (dla których wartość odchylenia standardowego w zbiorze odchyleń standardowych dla kolejnych miesięcy jest ponad dwa razy większa od wartości średniej), które następnie usunięto z analiz. Do zasadniczych analiz użyto wyłącznie danych wiarygodnych ze stacji, w których pomiar odbywał się we wszystkich dniach w roku lub brakowało pomiaru maksymalnie z 72 godz. (w ciągu nie mogło brakować więcej niż 48 godz.). Brakujące dane zastąpiono danymi pochodzącymi z roku poprzedniego (ten sam dzień tygodnia i miesiąc). Ze względu na wykazany w [4] różny wpływ  $Q_m$  wyznaczonego w odniesieniu do przekroju drogi oraz kierunku dominującego (dla dróg dwupasowych dwukierunkowych razem z kierunkiem przeciwnym) na warunki ruchu na drogach, analizy prowadzono dla wariantu mniej korzystnego (powodującego w ocenie niższy poziom swobody ruchu), tj. odpowiednio: drogi dwupasowe dwukierunkowe – w przekroju drogi (oba kierunki ruchu); drogi wielopasowe i autostrady – dla kierunku dominującego. W analizach pominięto odcinki dróg charakteryzujące się według [1] turystycznym lub rekreacyjnym charakterem przenoszonego ruchu (stacje nr 6, 16, 22) oraz o *SDR* < 7000 P/d (stacja nr 2 – jedyna stacja o tak niskim natężeniu ruchu). W celu ujednoczenia danych, analizy prowadzono w odniesieniu do udziałów natężeń godzinowych w średnim dobowym ruchu w roku *SDR*. W pierwszej kolejności przeprowadzono analizy na poziomie poszczególnych stacji, tzn. porównano uzyskane szeregi malejące w kolejnych latach. W przypadku braku stwierdzenia istotnych zmian w ich przebiegu (odległość wiązania wyznaczona z funkcji odległości euklidesowej < 5%, co odpowiada średnio 30 P/h), uśredniono uzyskane wartości. Pozwoliło to na stłumienie pojedynczych przypadków odstających (krótkotrwałe utrudnienia w ruchu, ekstremalne warunki pogodowe, ruchome dni ustawowo wolne od pracy). Jedynie w przypadku stacji nr 11, ze względu na zidentyfikowane różnice pomiędzy wartościami w kolejnych latach (odległość wiązania równa 11,8%, co odpowiada średnio 200 P/h), a także z uwagi na przesłanki literaturowe, zdecydowano się na podzielenie ich na dwie grupy, tj. o *SDR* < 25000 P/d (oznaczone jako 11\*) oraz *SDR* > 25000 P/d. Ostatecznie uzyskano 26 profili udziałów największych 200

analysed models refer to the whole of vehicles. In order to avoid accidental influences (road reconstructions, road constructions, road repairs or repairs near road sections), the assessment procedure for reliability of data, the so-called method of typical traffic fluctuations (the procedure recommended by BAST), was applied. The verification was conducted basing on averaged values of shares of daily volumes within separate months in *AADT* (the so-called coefficients of seasonal variability). Unreliable data (for which the standard deviation in the set of standard deviations for the successive months is over two times higher than the average value) was determined on the basis of profile comparisons of traffic variability in consecutive years. As a result, the unreliable data was removed from the analyses. Only reliable data from the stations with measurements carried out in all days of the year or with missing measurements of maximally 72 hr (the lack in the course of 48 hr maximum was allowed), was used for fundamental analyses. The missing data was replaced with data coming from the previous year (the same weekday and month). Because of the indicated in [4] different influence of *DHV* determined in relation to the road cross-section and dominating direction (for two-lane roads including the opposite direction) on road traffic conditions, the analyses were conducted for the less favourable variant (causing a lower level-of-service in assessment), i.e. two-lane roads – in the road cross-section (both traffic directions); multilane roads and freeways – for the dominant direction respectively. Road sections distinguished according to [1] by a tourist or recreational character of the transferred traffic (station No 6, 16 and 22) and with *AADT* < 7000 V/d (station No. 2 – the only one with such a low traffic intensity), were omitted in analyses. In order to standardize data the analyses were carried out with reference to shares of hourly volumes in the average daily traffic in a year *AADT*. The analyses on a level of individual stations, i.e. the acquired decreasing series of successive years, were the first to be performed. The achieved values were averaged in case of the lack of stated substantial changes in their courses (the fixation distance determined through the function of the standard Euclidean distance < 5%, what corresponds on the average with 30 V/h). Moreover, it enabled to bring down single departing cases (short traffic impediments, extreme weather conditions, flexible public holidays). It was decided to divide them into two groups, i.e. with *AADT* < 25000 V/d (marked as 11\*) and *AADT* > 25000 V/d only in case of the station No. 11, because of the identified differences between values in consecutive years (the fixation distance equals 11.8%, what conforms on the average to

natężeń godzinowych w roku w *SDR* (zgodnie z Tabl. 1 i Rys. 2), na których prowadzono zasadnicze analizy.

200 V/h), and due to literature premises. Finally, 26 profiles of shares of the highest 200 hourly volumes in the year considering *AADT* (according to Table 1 and Fig. 2), were achieved and fundamental analyses were performed on them.

Table 1. Characteristics of Golden River measurement stations  
Tablica 1. Charakterystyka stanowisk pomiarowych Golden River

| Station No. GR*)<br>Nr stacji GR | No. DK**)<br>Nr DK | Class<br>Klasa | Cross-section<br>Przekrój |              | <i>AADT</i> [V/d (Vehicles per day)] / <i>SDR</i> [P/d (Pojazdy w ciągu dnia)] |       |       |       |       |       |       |       | <i>HGVs / u<sub>c</sub></i><br>> 30 [%] |   |
|----------------------------------|--------------------|----------------|---------------------------|--------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|
|                                  |                    |                | 1×2                       | 2×2<br>(1×4) | year / rok   |       |       |       |       |       |       |       |   |   |
|                                  |                    |                |                           |              | 2010   | 2009  | 2008  | 2007  | 2006  | 2005  | 2004  | 2003  |   |   |
| 9                                | 7                  | GP             | +                         | +            | 17409  |       | 16639 |       |       |       |       |       |   |   |
| 10                               | 9                  | GP             | +                         |              |  | 8675  | 8282  | 7855  |       |       |       |       |   |   |
| 14                               | 2                  | GP             | +                         |              |  | 9855  |       |       |       |       |       |       |   |   |
| 15                               | 12                 | GP             | +                         |              |  | 22360 |       |       |       |       |       |       |   |   |
| 33                               | 19                 | GP             | +                         |              | 21104  |       |       |       |       |       |       |       |   |   |
| 34                               | 12                 | GP             | +                         |              | 8106   |       |       |       |       |       |       |       |   |   |
| 18                               | 4                  | GP             |                           | +            |  |       |       |       |       |       | 11500 |       |   |   |
| 19                               | 9                  | GP             | +                         |              |  |       | 9138  |       | 7621  |       |       |       |   |   |
| 11                               | 4                  | GP             | +                         |              |  | 25058 |       |       |       |       |       |       |   |   |
| 11*                              | 4                  | GP             | +                         |              |  |       |       |       |       |       | 21429 | 20689 |   |   |
| 4                                | 5                  | GP             | +                         |              |  |       |       |       |       |       |       | 9318  |   |   |
| 28                               | 6                  | GP             | +                         |              | 15640  |       |       |       | 12598 |       |       |       |   |   |
| 29                               | 20                 | GP             | +                         |              | 16634  |       |       |       |       |       |       |       |   |   |
| 5                                | 1                  | GP             | +                         |              | 12913  |       |       |       | 18504 |       |       |       |   |   |
| 21                               | 2                  | GP             | +                         |              |  |       |       |       | 14817 |       |       |       |   | + |
| 17                               | 5                  | GP             | +                         |              |  |       |       |       | 13604 |       | 13578 |       |   |   |
| 37                               | 92                 | GP             | +                         |              | 9113   |       |       |       |       |       |       |       |   |   |
| 30                               | 8                  | GP             |                           | +            |  |       |       |       |       | 16864 | 16037 | 15756 |   |   |
| 12                               | 2                  | GP             | +                         |              |  |       |       |       | 10617 |       | 10454 | 10150 |   |   |
| 31                               | 17                 | GP             | +                         |              |  | 16364 | 16093 | 15433 | 14719 | 14144 |       | 13453 |   |   |
| 20                               | 16                 | GP             | +                         |              |  | 9073  | 8443  | 8184  |       | 7511  |       |       |   |   |
| 1                                | 8                  | GP             | +                         |              | 13640  | 13126 |       | 12798 |       |       |       |       |   | + |
| 41                               | 8                  | GP             | +                         |              | 8323   |       |       |       |       |       |       |       |   | + |
| 40                               | 61                 | GP             | +                         |              | 9523   | 8992  | 9259  | 9042  |       |       |       |       |   | + |
| 27                               | A2                 | A              |                           | +            |  |       | 11286 |       |       |       |       |       |   | + |
| 38                               | A2                 | A              |                           | +            |  |       | 10646 |       |       |       |       |       |   | + |

\*) Golden River measurement stations / stanowiska pomiarowe

\*\*) national road network / sieć dróg krajowych

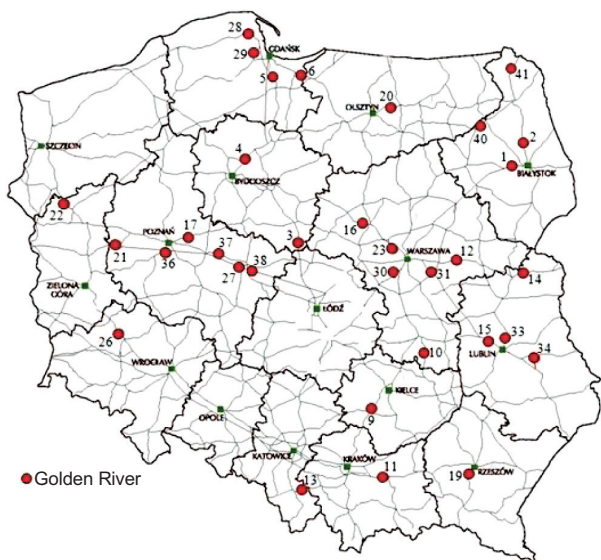
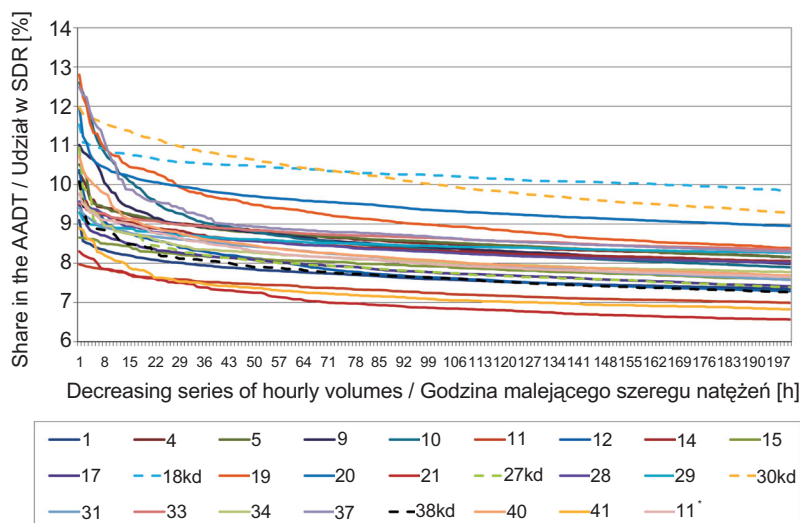


Fig. 1. Location map of permanent measurement stations [8]  
Rys. 1. Mapa lokalizacji stacji pomiaru ciągłego [8]

### 3. OPRACOWANIE MODELI DO WYZNACZANIA NATĘŻEŃ MIARODAJNYCH

Kierując się przesłankami literaturowymi oraz wstępnymi wynikami badań przeprowadzonych w pracy [4], sformułowano hipotezę badawczą, że wielkość *SDR*, średni udział pojazdów ciężkich w roku  $u_c$  oraz przekrój drogi mają wpływ na charakter zmian największych godzinowych natężeń ruchu w roku. Z tego powodu też podzielono sieć dróg krajowych, zamiejskich na cztery grupy. W pierwszej kolejności wydzielono odcinki o  $u_c > 30\%$  (stacje nr: 1, 21, 27, 38, 40, 41) lub o  $SDR > 25000$  P/d (stacja nr 11), tworząc grupę 1 (Rys. 3a). Następnie wydzielono odcinki dróg o wartości *SDR* z zakresu 7000 P/d ÷ 10000 P/d (stacje nr: 4, 10, 14, 19, 20, 34, 37) i utworzono grupę 2 (Rys. 3b). W kolejnym kroku podzielono pozostałe odcinki (o 10000 P/d < *SDR* < 25000 P/d) na drogi dwupasowe dwukierunkowe (stacje nr: 5, 9, 11\*, 12, 15, 17, 28, 29, 31, 33) oraz wielopasowe (stacje nr 18, 30), tworząc odpowiednio grupę 3 (Rys. 3c) i grupę 4 (Rys. 3d). W celu weryfikacji hipotezy, ze względu na występowanie zarówno zmiennych ilościowych  $u_c$ , jak i jakościowych (poziom *SDR*; przekrój drogi), posłużono się ogólną analizą dyskryminacyjną. Zmienną zależną stanowił numer grupy (1-4). Wynik klasyfikacji, w której w 100% poprawnie zaklasyfikowano odcinki dróg do danej grupy, potwierdza występowanie związku między badanymi elementami. W konsekwencji można uznać zastosowany podział sieci dróg krajowych za prawidłowy.



Rys. 2. Values of subsequent shares of 200 highest hourly volumes in AADT

Rys. 2. Wartości kolejnych udziałów największych 200 natężeń w roku w *SDR*

### 3. ELABORATING MODELS FOR DETERMINING RELIABLE VOLUMES

Guided by literature premises and initial research undertaken in the paper [4], it was hypothesized that the level of *AADT*, the average share of heavy vehicles per year *HGVs*, and the road section have an influence on a character of changes to the highest hourly traffic volumes within the year time. Consequently, the national and rural road network was divided into four groups. Sections with *HGVs* > 30% were the first to be marked off (station No.: 1, 21, 27, 38, 40, 41), or with *AADT* > 25000 V/d (station No. 11), forming the group 1 (Fig. 3a). Then road sections with *AADT* from the scope of 7000 V/d – 10000 V/d (station No.: 4, 10, 14, 19, 20, 34, 37) creating the group 2 (Fig. 3b), were sectioned. The next step was dividing the remaining sections (with 10000 V/d < *AADH* < 25000 V/d) into two-lane roads (station No.: 5, 9, 11\*, 12, 15, 17, 28, 29, 31, 33) and multilane roads (station No.: 18 and 30), making the group 3 (Fig. 3c), and the group 4 (Fig. 3d) respectively. In order to verify the hypothesis due to the appearance of both quantitative *HGVs* and qualitative variables (the *AADT* level, road section), the general discrimination analysis was applied. The dependent variable constituted the number of a group (1-4). The outcome of classification with 100% appropriately counted road sections into a given group, confirmed the occurrence of the relation between examined elements. Accordingly, the applied division of the national

W każdej z wynikowych grup wyznaczono wartości średnie i przypisano im opisującą je funkcję potęgową (1) wraz z jej równaniem (dopasowanie metodą najmniejszych kwadratów). Określono także współczynnik determinacji  $R^2$  oraz wyliczono standardowy błąd estymacji  $S_e$ .

$$\hat{y} = \alpha_0 \cdot x^{\alpha_1}, \quad (1)$$

gdzie:

$\alpha_0$  – poziom zmiennej objaśnianej,

$\alpha_1$  – elastyczność zmiennej objaśnianej względem zmiennej objaśniającej.

where:

$\alpha_0$  – the level of explained variable,

$\alpha_1$  – the flexibility of explained variable with regard to the explanatory variable.

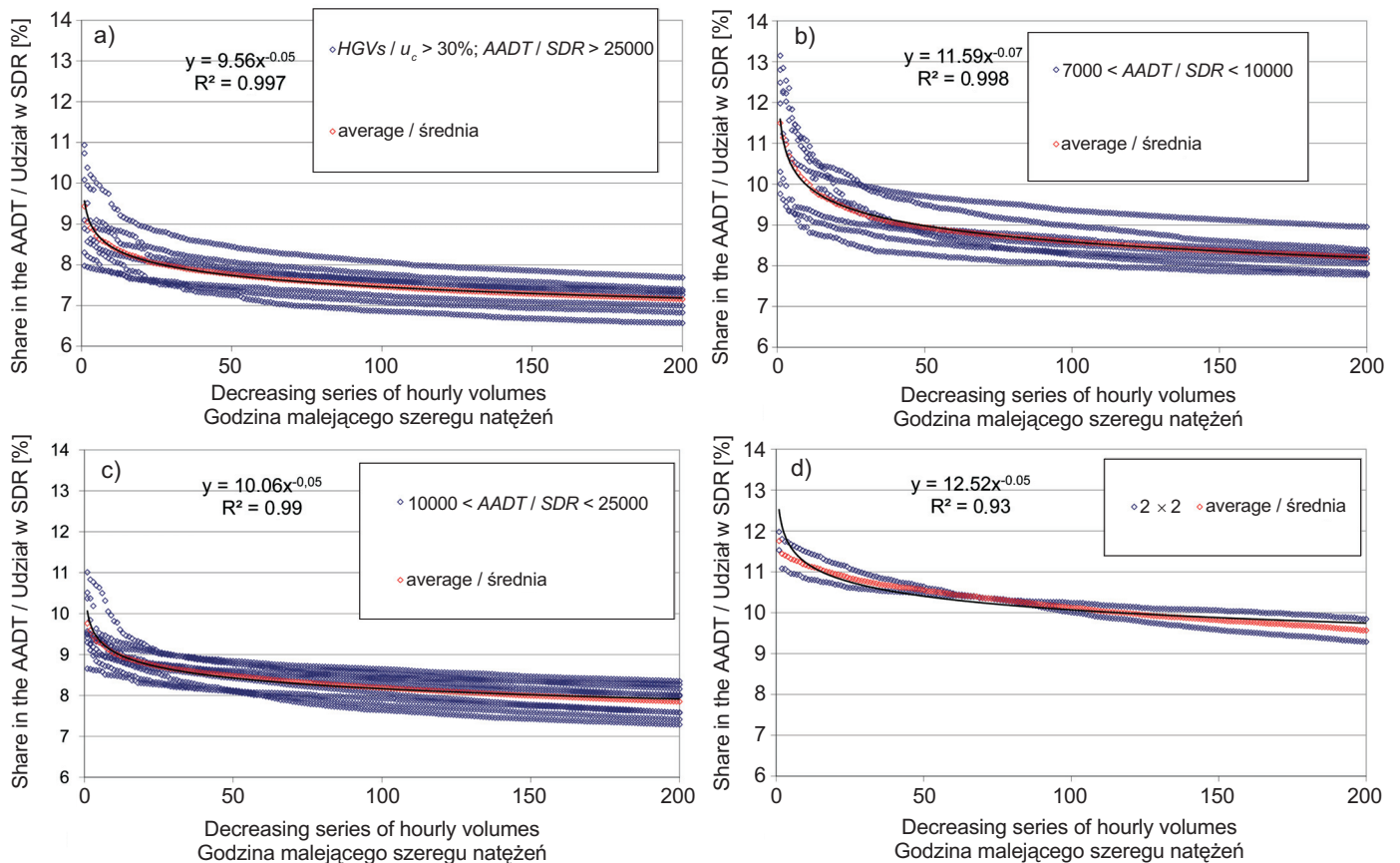


Fig. 3. Diagram of components of individual groups with adjusted power function

Rys. 3. Wykres składowych poszczególnych grup wraz z dopasowaną funkcją potęgową

W żadnym z przypadków nie uzyskano oczekiwanej zmiany tempa spadku  $u_{nthHV}$  w 50-tej godz., tylko w pierwszych 20 godz. W celu weryfikacji uzyskanych modeli wyznaczono szacowane natężenie miarodajne  $Q_{msz}$  przy wykorzystaniu opracowanych wzorów w każdej z grup w kolejnych latach. Ze względu na zbliżone średnie wartości w grupie 2 i 3, w przedziale od 30 do 200 pozycji (Rys. 4) postanowiono

The expected change to decrease pace  $u_{nthHV}$  in the 50<sup>th</sup> hr was not achieved in any case, except in the first 20 hr. In order to verify the acquired models the reliable assessment volume  $DHV_{msz}$  was determined with the use of elaborated patterns for every group in consecutive years. Additionally, the positions from 30 to 200 (Fig. 4) in the groups 2 and 3 were connected into the group 5 (Fig. 5)

dotąd dodatkowo połączyć je w grupę 5 (Rys. 5). Uzyskane wyniki porównano z wartościami empirycznymi i wyznaczono średni bezwzględny błąd procentowy  $MAPE$  – wzór (2). W Tabl. 2 przedstawiono uzyskane wyniki szacowania 30, 50 i 100 godz.

$$MAPE = \left| \left( \frac{Q_m - Q_{msz}}{Q_m} \right) \cdot 100\% \right|. \quad (2)$$

Table 2. Comparison of  $DHV$  assessment accuracy according to the power function  
Tablica 2. Porównanie dokładności szacowania  $Q_m$  według równania funkcji potęgowej

| Groups No.<br>Nr grupy | $MAPE$ [%] |      |      |      |      |      |      |      |                    | Sections of $MAPE$<br>Udział odcinków o $MAPE$ |       |       |       |
|------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|--|-------|-------|-------|
|                        | year /rok  |      |      |      |      |      |      |      |                    | < 5%   | < 10% | < 15% | < 20% |
|                        | 2010       | 2009 | 2008 | 2007 | 2006 | 2005 | 2004 | 2003 | average<br>średnia |  |       |       |       |
| 30 h                   |            |      |      |      |      |      |      |      |                    |  |       |       |       |
| 1                      | 6,2        | 8,1  | 5,4  | 3,3  | 6.1  |      |      |      | 5.8                | 60   | 80    | 90    | 100   |
| 2                      | 5.7        | 5.7  | 4.0  | 5.0  | 6.2  | 8.4  |      | 3.2  | 5.4                | 46   | 92    | 100   |       |
| 3                      | 2.8        | 3.6  | 2.6  | 3.5  | 2.5  | 1.6  | 2.5  | 3.3  | 2.8                | 77   | 100   |       |       |
| 4                      |            |      |      |      |      | 3.4  | 2.0  | 7.5  | 4.3                | 75   | 100   |       |       |
| 5                      | 2.8        | 6.8  | 5.9  | 5.4  | 5.0  | 6.9  | 5.7  | 3.3  | 5.2                | 51   | 89    | 100   |       |
| 50 h                   |            |      |      |      |      |      |      |      |                    |  |       |       |       |
| 1                      | 4.9        | 7.7  | 4.9  | 3.1  | 6.8  |      |      |      | 5.5                | 58   | 92    | 92    | 100   |
| 2                      | 4.7        | 4.5  | 4.4  | 6.0  | 5.3  | 9.9  |      | 1.7  | 5.2                | 40   | 100   |       |       |
| 3                      | 3.2        | 3.0  | 2.8  | 4.0  | 2.7  | 2.1  | 3.2  | 4.3  | 3.2                | 90   | 100   |       |       |
| 4                      |            |      |      |      |      | 2.9  | 1.9  | 5.6  | 3.5                | 75   | 100   |       |       |
| 5                      | 2.0        | 5.6  | 4.9  | 6.1  | 4.4  | 6.8  | 5.8  | 4.5  | 5.0                | 63   | 91    | 100   |       |
| 100 h                  |            |      |      |      |      |      |      |      |                    |  |       |       |       |
| 1                      | 6.3        | 7.0  | 4.7  | 2.3  | 8.6  |      |      |      | 5.8                | 60   | 80    | 90    | 100   |
| 2                      | 4.0        | 4.6  | 4.7  | 6.5  | 4.8  | 10.5 |      | 1.0  | 5.2                | 54   | 92    | 100   |       |
| 3                      | 3.4        | 3.8  | 3.3  | 5.5  | 3.6  | 1.0  | 4.6  | 4.9  | 3.8                | 59   | 100   |       |       |
| 4                      |            |      |      |      |      | 6.3  | 1.5  | 2.1  | 3.3                | 75   | 100   |       |       |
| 5                      | 2.3        | 5.0  | 4.8  | 6.6  | 4.9  | 7.0  | 6.5  | 4.8  | 5.2                | 57   | 94    |       |       |

Blisko w 70% przypadków uzyskano błąd nieprzekraczający 5%. Największą dokładność uzyskano dla dróg należących do grupy 3 (średnia wartość  $MAPE = 3,2\%$ ), stanowiącej najliczniejszą grupę (38%). Najmniejszą dokładność uzyskano dla dróg należących do grupy 1 (średnia wartość  $MAPE = 5,7\%$ ). We wszystkich przypadkach maksymalna różnica pomiędzy błędem uzyskanym dla 30, 50 i 100 godz. nie przekracza 1 punktu procentowego. Uzyskana dokładność szacowania 50 godz. jest zbliżona do dokładności uzyskanej w przypadku zastosowania modelu regresji wielorakiej [6] (różnica 0,1 punktu procentowego) oraz o 50% większa w przypadku zastosowania klasycznej metody wskaźnikowej. W przypadku połączenia grupy 2 i 3 uzyskano spadek dokładności o około 1 punkt procentowy w stosunku do analiz prowadzonych oddzielnie w każdej

due to similar average values. The obtained results were compared with empirical values, and the absolute average percentage error  $MAPE$  was determined – the equation (2). Table 2 presents the results of assessment of 30, 50 and 100 hr.

In almost 70% of cases the error did not exceed 5%. The highest accuracy was achieved for roads belonging to the group 3 (the average value  $MAPE = 3.2\%$ ), making the most numerous group (38%). The lowest accuracy was obtained for roads belonging to the group 1 (the average value  $MAPE = 5.7\%$ ). In all cases the maximum difference between the error reached for 30, 50 and 100 hr has not exceeded 1 percentage point. The achieved assessment accuracy of 50 hr is close to the accuracy acquired in case of manifold regression model application [6] (the difference of 0.1 percentage point), and by 50% higher in case of classical index method application. In case of joining the groups 2 and 3 a drop in accuracy by about 1 percentage point was achieved in relation to separately performed analyses for each of those groups. Therefore,



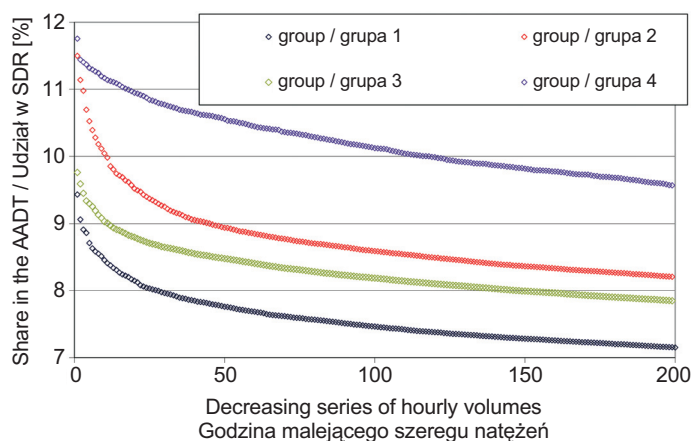


Fig. 4. Diagram of averages of individual homogeneous groups  
Rys. 4. Wykres średnich poszczególnych grup jednorodnych

z tych grup. Z tego powodu w celu zwiększenia bazy danych można analizować je razem. Konsekwentnie, dla grupy 5 przeprowadzono uzupełniające analizy polegające na budowie modelu regresji (zmienna objaśniana: procentowy udział natężenia w poszukiwanej godzinie w roku w *SDR*; zmienna objaśniająca: pozycja w szeregu malejącym natężeń ruchu). Przy takim podejściu uzyskano średni bezwzględny błąd szacunku dla danych z 2010 roku, wynoszący odpowiednio: 30 godz. – 4,5%; 50 i 100 godz. – 4,2%. Przy zastosowaniu równania regresji opracowanej w [2] dla zakresu natężeń *SDR* od 10000 P/d do 20000 P/d, uzyskano błąd dla tych samych danych przekraczający 20%. W Tabl. 3 zestawiono wynikowe równania funkcji potęgowej w każdej z grup oraz równanie regresji w grupie 5 (wartość  $x$  oznacza poszukiwaną godzinę w szeregu malejącym największych natężeń w roku, wartość  $y$  oznacza procentowy udział natężenia w poszukiwanej godzinie w roku w *SDR*). W przypadku grup 1-4 przedstawiono także standardowy błąd względny oceny modelu  $S_e$ .

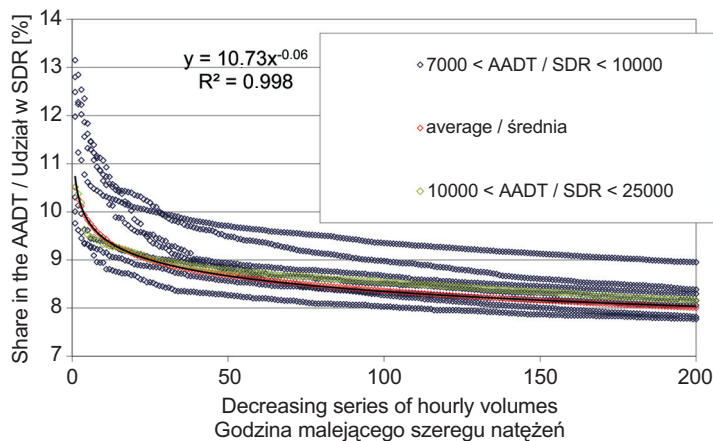


Fig. 5. Diagram of group 5 with the adjusted power function  
Rys. 5. Wykres składowych grupy 5 wraz z dopasowaną funkcją potęg.

they can be analysed altogether in order to increase the database. Consequently, supplementary analyses consisted in creating the model of regression for the group 5 were performed (the explained variable: the percentage share of intensity in the requested hour in *AADT* in the year time; the explanatory variable: a position in the decreasing series of traffic volume). With such an approach the acquired average absolute error of assessment for the data of 2010 came to: 30 hr – 4.5%; 50 hr and 100 hr – 4.2% respectively. With the use of regression equation elaborated in [2] for the scope of *AADT* volumes from 10000 V/d up to 20000 V/d, the achieved error for the same data surpassed 20%. The resultant equations of power function for every group and the regression equation in the group 5 (the value  $x$  means the required hour in the decreasing series of the highest volumes per year, the value  $y$  denotes the percentage share of volume in the required hour in *AADT* in the year) are compiled in Table 3. In the event of the groups 1-4 the standard relative error of the assessment of the model  $S_e$  was also presented.

Table 3. Equation of power function for determining the reliable volume in any peak-hour in the year

Tablica 3. Równanie funkcji potęgowej do wyznaczania natężenia miarodajnego w dowolnej szczytowej godzinie w roku

| Characteristics of sections' group<br>Charakterystyka grupy odcinków  | Equation of power function<br>Równanie funkcji potęgowej | $S_e$ [%] |
|---|--|-----------|
| Group 1 ( $HGV_s > 30\%$ and/or $AADT > 25000$ V/d)<br>Grupa 1 ( $u_c > 30\%$ i/lub $SDR > 25000$ P/d)        | $y = 9.56x^{-0.05}$                                      | 0.42      |
| Group 2 (roads 1x2, $7000$ V/d < $AADT < 10000$ V/d)<br>Grupa 2 (drogi 1x2, $7000$ P/d < $SDR < 10000$ P/d)   | $y = 11.59x^{-0.07}$                                     | 0.49      |
| Group 3 (roads 1x2, $10000$ V/d < $AADT < 25000$ V/d)<br>Grupa 3 (drogi 1x2, $10000$ P/d < $SDR < 25000$ P/d) | $y = 10.06x^{-0.05}$                                     | 0.37      |
| Group 4 (multilane roads and $HGV_s > 30\%$ )<br>Grupa 4 (drogi wielopasowe o $u_c < 30\%$ )                  | $y = 12.52x^{-0.05}$                                     | 0.54      |
| Group 5 (roads 1x2, $7000$ V/d < $AADT < 25000$ V/d)<br>Grupa 5 (drogi 1x2, $7000$ P/d < $SDR < 25000$ P/d)   | $y = 10.73x^{-0.06}$ , $y = 9.20 - 0.007x$               | –         |

#### 4. CHARAKTERYSTYKA PRZEDZIAŁÓW NAJWIĘKSZYCH NATĘŻEŃ W ROKU

Analizy zmienności rozkładu kierunkowego ruchu 200 największych godzinowych natężeń w roku ograniczono do dróg dwupasowych dwukierunkowych. W przypadku dróg wielopasowych analizy oceny warunków ruchu należy prowadzić oddzielnie dla kierunków ruchu, dlatego też nie jest potrzebna znajomość rozkładu kierunkowego (nie powinno się wyznaczać natężenia godzinowego w analizowanym kierunku jako procentowego udziału w przekroju drogi). Wprawdzie według HCM 2010 [9] także w przypadku dróg dwupasowych dwukierunkowych analizy prowadzi się oddzielnie dla kierunków ruchu, jednakże godzinowe natężenie ruchu w danym kierunku przyjmuje się jako procentowy udział w przekroju drogi. Do analiz wykorzystano dane pochodzące z ostatniego roku, z którego były dostępne dane (rok 2010, 2009, 2008, 2006, 2004, 2003). Ze względu na dużą losowość zróżnicowania kierunkowego ruchu w kolejnych największych natężeniach godzinowych w roku oraz konieczność uogólnienia wyników, udział procentowy kierunku bardziej obciążonego przyjęto jako średnią z 10 godz. (1-10, 11-20, ..., 191-200). W ten sposób uzyskano 22 szeregi składające się z 20 przedziałów. W celu podziału ich ze względu na udział natężenia kierunku bardziej obciążonego, w kolejnym etapie analiz wykorzystano algorytm grupujący (analiza skupień). Podstawową ideą analizy skupień jest podzielenie obiektów (szeregów czasowych) w taki sposób, aby stopień powiązania obiektów należących do jednej grupy był jak największy, a między grupami jak najmniejszy [10]. W tym celu wykorzystano algorytm grupowania metodą  $k$ -średnich (jako wstępne centra skupień wybrano obserwacje tak, by zmaksymalizować odległości skupień). Metoda ta pozwala na utworzenie  $k$ -skupień w możliwie największym stopniu różniących się od siebie. Na Rys. 6 przedstawiono wykres średnich każdego skupienia wraz z dolną i górną granicą udziału kierunku ruchu bardziej obciążonego w przekroju drogi (dolna granica dla skupienia 2 pokrywa się z wartością średnią uzyskaną na podstawie  $SDR$ , tj. udziału  $SDR$  kierunku dominującego w  $SDR$  przekroju drogi). W Tabl. 4 przedstawiono wynikowe numery stacji przynależnych do danego skupienia (skupienie 2 stanowi ponad 70% przypadków) wraz z odległościami od środka właściwego skupienia. Ponadto przeprowadzono szczegółowe analizy 50 największych godzinowych natężeń pod kątem dni w tygodniu ich występowania wraz z rankingiem (Tabl. 5). Wartości maksymalne w rankingu odpowiadają dniom najczęściej występującym, natomiast minimalne – występującym najrzadziej. Można zauważyć, że w przypadku skupienia 1, charakteryzującego

#### 4. CHARACTERISTICS OF INTERVALS OF THE HIGHEST TRAFFIC VOLUMES IN A YEAR

Variability analyses of directional traffic distribution of 200 highest hourly traffic volumes per year were limited to two-lane roads. In case of multilane roads the assessment analyses of traffic conditions should be conducted separately for every direction. That is why the knowledge of directional distribution is not necessary (the hourly volume toward an analysed direction should be outlined as a percentage share in a road cross-section). Admittedly, according to HCM 2010 [9], individual analyses of both traffic directions are conducted also in case of two-lane roads, but the hourly traffic volume along a given direction is adopted as percentage share in the road cross-section. The data coming from the last year of the period with accessible data (the years: 2010, 2009, 2008, 2006, 2004, and 2003) were used in the analyses. Due to the high randomness of the directional changeability of the subsequent highest hourly volumes in a year, and the need for generalisation of results, the percentage share of the heavily loaded direction was approved as an average of 10 hr (1-10, 11-20, ..., 191-200). This way 22 series consisting of 20 intervals were obtained. In order to divide them because of the share of heavier loaded direction the cluster algorithm (cluster analysis) was applied in the next stage of analyses. The basic idea of the cluster analysis is the division of objects (time series) so that the connection level of the objects belonging to one group was the highest, but the lowest between the groups [10]. In order to do that the cluster algorithm with the method of  $k$ -averages (the observations were selected as initial centres of clusters so that the clusters distances were maximized). That method enables creating  $k$ -clusters mostly differing from each other. Fig. 6 presents the diagram of each cluster with the lower and upper share limits of the heavier loaded traffic direction across the road cross-section (the lower limit for the cluster 2 coincidences with the average value obtained through  $AADT$ , i.e. the  $AADT$  share of the dominating direction in the  $AADT$  road cross-section). Table 4 demonstrates resultant numbers of stations belonging to a given cluster (cluster 2 makes over 70% of cases) with distances from the centre of an appropriate cluster. Moreover, the detailed analysis of the highest 50 hourly volumes was carried out paying special attention to daily occurrences in individual months, including the appropriate ranking (Table 5). The maximum values of the ranking correspond with days appearing the most frequently, while minimum ones – with



się średnio o 10% większym udziałem kierunku ruchu bardziej obciążonego w stosunku do wartości określonych na podstawie *SDR* (zakres od 5% do 17%), wszystkie odcinki dróg wchodzące w jego skład cechują się występowaniem największych natężeń w roku w soboty lub niedziele. Średnia wartość udziałów kierunkowych ruchu utrzymuje się na poziomie około 62% od 30 godz. do 90 godz. w roku, a następnie spada do poziomu około 60%. W przypadku skupienia 2, charakteryzującego się średnio o 4% większym udziałem kierunku ruchu bardziej obciążonego w stosunku do wartości określonych na podstawie *SDR* (zakres od 0% do 11%), drogi wchodzące w jego skład cechują się występowaniem największych natężeń w roku zarówno w piątki, jak i soboty lub niedziele. Średnia wartość udziałów kierunkowych ruchu utrzymuje się na stałym poziomie wynoszącym około 55% w całym analizowanym okresie.

## 5. WPŁYW NATĘŻENIA RUCHU NA ANALIZY SPRAWNOŚCI ODCINKÓW DRÓG

W procesie projektowym należy tak dobrać typ drogi, rodzaj przekroju poprzecznego, pochylenie podłużne oraz inne elementy nieujęte w użytej w analizach metodzie HCM, aby (dla zadanego  $Q_m$ ) zapewnić wymagane warunki ruchu. W praktycznych metodach obliczeniowych wprowadza się klasyfikację warunków ruchu za pomocą poziomów swobody ruchu – *PSR*, będących ich jakościową miarą, uwzględniającą oceny kierujących pojazdami i innych użytkowników dróg [9, 11]. Na projektowanym odcinku drogi, w zależności od jej klasy, zaleca się projektowanie na *PSR C* i *D* (w skrajnym przypadku przejazd jednego pojazdu więcej powoduje przekroczenie natężenia krytycznego i spadek *PSR* odpowiednio na poziom *D* i *E*). W celu określenia wpływu natężeń ruchu na analizy sprawności odcinków drogowych przeprowadzono analizę, polegającą na badaniu jakości ich funkcjonowania przy określonych zmianach natężeń w poszczególnych dniach i miesiącach, przy założeniu utrzymania dopuszczanego standardu warunków ruchu (*PSR C* i *D*). Analizy prowadzono na modelowym odcinku dróg dwupasowych dwukierunkowych, określonym w [4] (w przypadku terenu płaskiego wartość natężenia krytycznego wynosi:  $Q_{kD} = 1655$  P/h;  $Q_{kC} = 896$  P/h). W analizach uwzględniono 2 typy zmienności dobowej, tj.: dni niedziela - piątek – najczęściej występujący profil na drogach zamiejskich, określony na podstawie Generalnego Pomiaru Ruchu (z wyraźnym szczytem popołudniowym); sobota – wartość średnia uzyskana dla stacji ciągłego pomiaru ruchu GR oraz po 1 typie zmienności tygodniowej i sezonowej przyjętych na podstawie [1]

days appearing the most rarely. It can be noted that in case of the cluster 1, distinguished by approximately 10% higher share of the heavier loaded traffic direction compared to values determined on the basis of *AADT* (the scope from 5% to 17%), all the road sections included in it are marked by the occurrence of the highest yearly volumes on Saturdays and Sundays. The average value of directional traffic shares remains at the level of around 62% from 30 to 90 hr per year, and then it drops to the level of about 60%. In case of cluster 2, characterized by on average 4% higher share of heavier loaded traffic direction in comparison with values determined on the grounds of *AADT* (the scope from 0% to 11%), the road sections included in it are marked by the occurrence of the highest volumes in a year both on Fridays and Saturdays or Sundays. The average value of directional traffic shares remains at the constant level of about 55% in the whole analysed period.

## 5. THE TRAFFIC VOLUME IMPACT ON EFFICIENCY ANALYSES OF ROAD SECTIONS

A road type, a type of cross-section, longitudinal tangent and other elements omitted in the applied method HCM (The Highway Capacity Manual) should be selected in the designing process in such a way that (for the designed *DHV*) required traffic conditions were secured. In practical computational methods the classification of traffic conditions through the level-of-service *LOS*, being their qualitative measure taking into account assessments of vehicle drivers and other road users [9, 11], is introduced. It is advised to design a road section according to *LOS C* and *D*, depending on the road class (in extreme cases the ride of one more vehicle causes exceeding the critical traffic volume and a drop to levels *D* and *E* respectively). In order to determine the impact of the traffic volumes on efficiency analyses of road sections, the analysis aimed at testing the quality of their performance at given changes of traffic volumes in individual days and months with an assumption to hold on to an acceptable standard of the traffic conditions *LOS C* and *D*, was carried out. The analyses were performed on a model of two-lane road section described in [4] (for a flat area the value of critical volume amounts to:  $DHV_{kD} = 1655$  V/h,  $DHV_{kC} = 896$  V/h). Two types of daily variability were taken into consideration, i.e. Sunday - Friday, the profile most frequently appearing days on rural roads described on the basis of the General Traffic Census (with a distinct afternoon peak); Saturday – the average value achieved for the station of

(drogi o gospodarczym charakterze ruchu). W przypadku zmienności sezonowej zagregowano dane do okresów dwumiesięcznych o zbliżonych udziałach w  $SDR$  (IV i XI – 0,99 i 0,98; V i X – 1,04 i 1,03; VI i IX – 1,08 i 1,07; VII i VIII – 1,13 i 1,14). W każdym z okresów przyjęto po 9 tygodni (8 dla IV - XI). Przykładowo, dopuszczając przekroczenie natężenia krytycznego  $Q_{ki}$  w ciągu 1 godz. w całym tygodniu w miesiącach VI i IX (wskaźnik zmienności sezonowej – 1,08),  $Q_m$  odpowiadać będzie 81 godz. (81 razy mogą wystąpić warunki gorsze od zakładanych, czyli w 0,9% wszystkich godzinowych natężeń w roku). W przypadku dopuszczenia przekroczenia w miesiącu V i X (wskaźnik zmienności sezonowej – 1,04) uzyskuje się  $Q_m$  odpowiadające 152 i 161 godz. w roku (odpowiednio dla  $PSR$  D i C) zgodnie z Tabl. 6.

permanent traffic measurement GR, and after 1 type of weekly and seasonal variability adopted basing on [1] (roads of economic traffic character). In case of seasonal variability the data of two-month periods with similar shares in  $AADT$  (April and November – 0.99 and 0.98; May and October – 1.04 and 1.03; June and September – 1.08 and 1.07; July and August – 1.13 and 1.14) were aggregated. In every period 9 weeks (8 weeks for April - November) were adopted. For instance, permitting exceed the critical volume  $DHV_{ki}$  during 1 hr in the whole week in the 6<sup>th</sup> and the 9<sup>th</sup> month (the index of seasonal variability – 1.08),  $DHV$  will correspond with 81 hr (conditions worse than intended before may occur 81 times, that is in 0.9% of all hourly volumes within one year). In case of allowing for exceeding in the 5<sup>th</sup> and the 10<sup>th</sup> months (the index of seasonal variability – 1.04) the received  $DHV$  corresponds with the 152 hr and the 161 hr of the year (for  $LOS$  D and C respectively), according to Table 6.

Table 6. Number of hours with the exceeded value  $DHV_{ki}$  with exceeding by 1 hour weekly allowed in June and September as well as in May and October

Tablica 6. Liczba godzin z przekrozoną wartością  $Q_{ki}$  przy dopuszczeniu przekroczeń o 1 godzinę w tygodniu w miesiącu VI i IX oraz V i X

| $LOS$<br>$PSR$ | Months<br>Miesiące | Mon<br>Pn | Tue<br>Wt | Wed<br>Śr | Thu<br>Czw | Fri<br>Pt | Sat<br>Sb | Sun<br>Nd | Sum<br>Suma |
|----------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| D              | V, X               | 0         | 0         | 0         | 0          | 1         | 0         | 0         | 1           |
|                | VI, IX             | 0         | 0         | 0         | 0          | 1         | 0         | 0         | 1           |
|                | VII, VIII          | 1         | 1         | 1         | 1          | 3         | 0         | 0         | 7           |
| D              | IV, XI             | 0         | 0         | 0         | 0          | 1         | 0         | 0         | 1           |
|                | V, X               | 0         | 0         | 0         | 0          | 1         | 0         | 0         | 1           |
|                | VI, IX             | 0         | 0         | 1         | 1          | 3         | 0         | 0         | 5           |
|                | VII, VIII          | 1         | 1         | 2         | 3          | 3         | 0         | 0         | 10          |
| C              | V, X               | 0         | 0         | 0         | 0          | 1         | 0         | 0         | 1           |
|                | VI, IX             | 0         | 0         | 0         | 0          | 1         | 0         | 0         | 1           |
|                | VII, VIII          | 1         | 1         | 1         | 1          | 3         | 0         | 0         | 7           |
| C              | IV, XI             | 0         | 0         | 0         | 0          | 1         | 0         | 0         | 1           |
|                | V, X               | 0         | 0         | 0         | 0          | 1         | 0         | 0         | 1           |
|                | VI, IX             | 0         | 0         | 1         | 1          | 3         | 0         | 0         | 5           |
|                | VII, VIII          | 1         | 2         | 2         | 3          | 3         | 0         | 0         | 11          |

## 6. METODOLOGIA WYZNACZANIA NATĘŻEŃ MIARODAJNYCH DO ANALIZ SPRAWNOŚCI DRÓG

Poniżej przedstawiono tok postępowania w celu wyznaczenia natężenia miarodajnego dla potrzeb analiz sprawności dróg na podstawie  $SDR$ . W przypadku dróg dwupasowych dwukierunkowych  $Q_m$  należy ustalać w odniesieniu do

## 6. METHODOLOGY FOR DETERMINING DESIGNED VOLUMES TO ANALYSE ROAD EFFICIENCY

The course of actions aiming at determination of the designed traffic volume for the purposes of the road efficiency analyses based on  $AADT$  is shown below. In case of two-lane roads  $DHV$  ought to be determined with reference

przekroju drogi, natomiast w przypadku dróg wielopasowych do kierunku ruchu dominującego. Przedstawione procedury umożliwiają wyznaczenie natężenia miarodajnego dla dróg krajowych zamiejskich, dla ogółu pojazdów:

- Wybór miarodajnej pozycji w szeregu malejącym największych natężeń w roku.
- Wybór odpowiedniego równania funkcji potęgowej według Tabl. 3 i wyznaczenie procentowego udziału natężenia w poszukiwanej szczytowej godzinie w roku w *SDR*.
- Wyznaczenie wartości natężenia miarodajnego na podstawie *SDR* (w przypadku dróg wielopasowych koniec analizy).
- Wyznaczenie miarodajnego rozkładu kierunkowego ruchu według Rys. 6, na podstawie dnia tygodnia, w którym występują największe natężenia w roku (w przypadku soboty lub niedzieli zalecane przyjęcie bardziej niekorzystnego rozkładu, tj. powodującego gorsze obliczeniowe warunki ruchu).
- Wyznaczenie wartości  $Q_m$  dla każdego z kierunków ruchu.

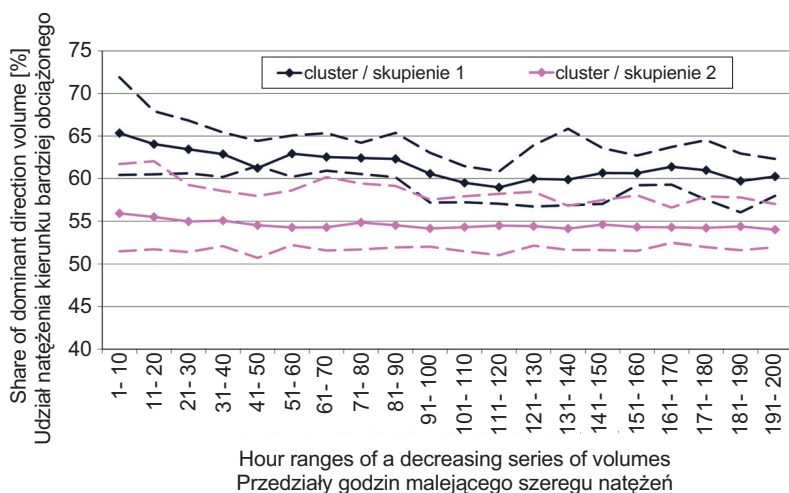


Fig. 6. The diagram of each cluster averages with lower and upper share limits of heavily loaded direction in the cross-section of the road  
Rys. 6. Wykres średnich każdego ze skupień wraz z dolną i górną granicą udziału kierunku bardziej obciążonego w przekroju drogi

### Przykład obliczeniowy

Dane wejściowe – droga krajowa o przekroju 1×2, *SDR* = 15000 P/d,  $u_c < 30\%$ , największe natężenia w roku występują w piątek:

- poszukiwana wielkość  $Q_m$  odpowiadająca 81 godz. w roku,
- wybór równania funkcji dla grupy 3:
  - procentowy udział 81 godz. w *SDR* =  $10,06 \cdot (81)^{-0,05} = 8,08\%$ ,

to the road cross-section, whereas in case of multilane roads – with reference to the direction of dominating road traffic. The presented procedures enable setting a designed traffic volume for national rural roads, and the whole of vehicles:

- Selecting the reliable position in a diminishing series out of the highest volumes in a year.
- Selecting the suitable equation of power function according to Table 3 and determining the percentage share of traffic volume in a requested peak-hour in a year of *AADT*.
- Determining the value of designed traffic volume basing on *AADT* (the end of analysis in case of multilane roads).
- Determining the designed directional traffic distribution according to Fig. 6, based on a weekday with the highest traffic volumes per year (the adoption of less favourable distribution is recommended in case of Saturday or Sunday, i.e. the distribution causing worse computational traffic conditions).
- Determining the value *DHV* for every traffic direction.

### Computational example

Input data – national road with a cross-section 1×2, *AADT* = 15000 V/d,  $HGV_s < 30\%$ , the highest yearly volumes occur on Fridays:

- requested value *DHV* reflecting 81 hr in a year,
- selecting a functional equation for the group 3:
  - percentage share of 81 hr in *AADT* =  $10,06 \cdot (81)^{-0,05} = 8,08\%$ ,
- determining the designed traffic intensity in a road cross-section:
  - $DHV_{81} = 8,08\% \cdot 15000 = 1212$  V/h,

c) wyznaczenie natężenia miarodajnego w przekroju drogi:

- $Q_{81} = 8,08\% \cdot 15000 = 1212 \text{ P/h}$ ,

d) wyznaczenie rozkładu kierunkowego ruchu 55/45% na podstawie Rys. 6 (skupienie 2),

e) wyznaczenie natężenia miarodajnego dla każdego z kierunku ruchu:

- $Q_{81}$  – kierunek dominujący: 667 P/h; kierunek przeciwny: 545 P/h.

d) determining the directional traffic distribution 55/45% based on Fig. 6 (the cluster 2),

e) determining the designed traffic volume for each traffic direction:

- $DHV_{81}$  – dominating direction: 667 V/h; opposite direction: 545 V/h.

## 7. WNIOSKI

- 1) Ze względu na brak oczekiwanej charakterystycznej zmiany tempa spadku udziałów największych natężeń godzinowych w średnim dobowym ruchu w roku (dla żadnej stacji nie uzyskano jej w 50-tej godz.; tylko dla 13% w 30-tej godz.) można stwierdzić, że kształt malejącego szeregu natężeń nie wyjaśnia przyjmowania jako miarodajnego natężenia szczytowej 50-tej godz. w roku (30-tej w przypadku dróg zlokalizowanych na terenie zabudowy małych miejscowości lub w zewnętrznej strefie dużych miast). W związku z tym należy opracować metodologię umożliwiającą szacowanie natężenia odpowiadającego dowolnej szczytowej godzinie w roku (dostosowanej przykładowo do kształtu profili zmienności natężeń ruchu w czasie), umożliwiającą bardziej elastyczne podejście w analizach sprawności dróg z uwzględnieniem innych kryteriów, np. warunków lub kosztów ruchu.
- 2) Funkcja potęgowa dobrze opisuje charakter zmian udziałów największych natężeń godzinowych w  $SDR$ . Standardowy błąd względny oceny modelu  $S_e$  w grupie 1-3 wynosi poniżej 0,5% (w grupie 4 – 0,54%). Współczynnik determinacji  $R^2$  dopasowania równania funkcji do średnich wartości empirycznych w każdej z opracowanych grup jest bliski jedności. Niewielkie różnice w dokładności szacowania natężenia odpowiadającego 30-tej, 50-tej i 100-tej godz. świadczą o dobrym dopasowaniu funkcji w całym analizowanym zakresie zmienności.
- 3) Wystarczającym jest podział sieci dróg krajowych zamiejskich na cztery grupy jednorodnie ruchowo ( $u_c > 30\%$  i/lub  $SDR > 25000 \text{ P/d}$ ; drogi dwupasowe dwukierunkowe o  $SDR$  z zakresu od 7000 P/d do 10000 P/d; drogi dwupasowe dwukierunkowe o  $SDR$  z zakresu od 10000 P/d do 25000 P/d; drogi wielopasowe o  $u_c < 30\%$ ). Blisko w 70% analizowanych przypadków (grupa 1-4) uzyskano błąd szacowania natężenia odpowiadającego 30-tej, 50-tej lub 100-tej godz. w roku, nieprzekraczający 5%.

## 7. CONCLUSIONS

- 1) The shape of diminishing volume series does not explain adoption of the 50<sup>th</sup> peak-hour of a year (the 30<sup>th</sup> hr for roads situated on areas of land development of small towns or in external zones of large cities) on account of the lack of an expected characteristic change in decline pace of shares of the highest hourly volumes in average daily traffic per year (it has not been achieved in the 50<sup>th</sup> hr in any station; in the 30<sup>th</sup> hr only for 13%). Accordingly, the new methodology enabling the assessment of a volume corresponding with any peak-hour in a year (as an example, adapted for the shape of temporal variability profile of the traffic volume) should be created. It ought to allow at the same time more elastic approach to analyses of the road performance, taking into consideration other criteria, e.g. traffic conditions or traffic costs.
- 2) The power function describes well the character of changes in shares of the highest hourly volumes in  $AADT$ . The standard relative error of the model  $S_e$  assessment in the group 1-3 comes below 0.5% (in the group 4 – 0.54%). The determination coefficient  $R^2$  of adjustment of the function equation to average empirical values in each of the elaborated groups is close to unity. Small differences in assessment accuracy of the volume reflecting the 30<sup>th</sup>, the 50<sup>th</sup> and the 100<sup>th</sup> hr show an appropriate adjustment of the function in the whole analysed scope of variability.
- 3) The division of rural national road networks into four homogenous in terms of traffic groups is sufficient: ( $HGVs > 30\%$  and/or  $AADT > 25000 \text{ V/d}$ ; two-lane roads with  $AADT$  of the scope from 7000 V/d up to 10000 V/d; two-lane roads with  $AADT$  of the scope from 10000 V/d up to 25000 V/d; multilane roads with  $HGVs < 30\%$ ). Errors of volume assessment reflecting in a year the 30<sup>th</sup>, the 50<sup>th</sup> or the 100<sup>th</sup> hr, and not exceeding 5%, were achieved in almost 70% of analysed cases (group 1-4).
- 4) The elaborated equations of power function enable the volume assessment corresponding with any peak-hour in a year. In case of assessing values reflecting the 50<sup>th</sup> hr in a year the accuracy close to the correctness

- 4) Opracowane równania funkcji potęgowej pozwalają z wystarczającą dokładnością na szacowanie natężenia odpowiadającego dowolnej szczytowej godzinie w roku. W przypadku szacowania wartości odpowiadającej 50-tej godz. w roku, uzyskano dokładność zbliżoną do uzyskanej z modelu regresji wielorakiej (6 zmiennych objaśniających) oraz o 52% większą od modelu regresji prostej (jedna zmienna objaśniająca).
- 5) Ze względu na stabilność szeregów malejących największych godzinowych natężeń w roku w kolejnych latach w obrębie jednej stacji i określonych grup (zblizona dokładność szacowania  $Q_m$  w latach 2010 - 2003) można przyjmować opracowane równania funkcji potęgowej w innych latach niż były wyznaczane (w tym w roku prognozy).
- 6) Rozkład kierunkowy największych godzinowych natężeń ruchu w roku różni się od wartości średnich w roku (wyznaczonych na podstawie *SDR*).
- 7) Dzień tygodnia, w którym najczęściej występują największe natężenia w roku ma wpływ na rozkład kierunkowy ruchu w szczytowych godzinach w roku. W przypadku soboty lub niedzieli występują dwa typowe profile rozkładu kierunkowego ruchu (preferowany wybór w analizach sprawności mniej korzystnego wariantu). W przypadku piątku zidentyfikowano tylko jeden typowy profil, stały w całym analizowanym zakresie danych.
- 8) Zaproponowana metodologia wyznaczenia natężeń miodajnych dla potrzeb analiz sprawności dróg zamiej-skich pozwala z wystarczającą dokładnością szacować natężenia w dowolnej szczytowej godzinie w roku, w tym w roku prognozy.

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Ruch Drogowy 2010. Transprojekt Warszawa Sp. z o.o.
- [2] Schurr K.: Using Traffic Estimates to Evaluate Intersection Improvements. Project P553, Nebraska, 2010
- [3] Lemke K.: Estimation of the Peak - Hour Demand In the German Highway Capacity Manual. 6<sup>th</sup> International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Stockholm, Sweden, 2011, 762-770
- [4] Splawińska M.: Charakterystyki zmienności natężeń ruchu i ich wpływ na eksploatację wybranych obiektów drogowych. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków, 2013
- [5] Ghanim M.S.: Florida Statewide Design - Hour Volume Prediction Model. TRB 90<sup>th</sup> Annual Meeting DVD, Washington DC, 2011

- obtained from the model of a multiple regression (6 interpretative variables), and by 52% higher than from the model of a simple regression (only one explanatory variable).
- 5) Due to stability of diminishing series of the highest peak-hours per year in the consecutive years within the reach of one station and inside definite groups (the similar assessment accuracy of *DHV* in the years 2010 - 2013), the involution equations elaborated in other years than they were outlined (including the forecast year) can be adopted.
  - 6) The directional distribution of the highest hourly traffic volumes per year differs from values of averages in a year (determined in accordance with *AADT*).
  - 7) The weekday when the highest traffic intensity occurs has an impact on directional traffic distribution in peak-hours of the year. In case of Saturday or Sunday two typical profiles of traffic direction distribution take place (the choice of the less favorable variant is preferred in efficiency analyses). In case of Fridays only one typical profile, constant throughout the whole analysed database, was identified.
  - 8) The proposed methodology for determining designed traffic volumes in order to analyse efficiency of rural roads enables sufficiently accurate assessment of traffic volumes in any peak-hour a year, including the forecast year.
- [6] Splawińska M.: Development of models for determining the traffic volume for the analysis of roads efficiency. Archives of Transport, **33**, 1, 2015, 81-91
  - [7] Liu Z., Sharma S.: Prediction of Directional Design Hourly Volume Based on Statutory Holiday Traffic, in: Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board, 1968, 2006, 30-39
  - [8] 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
  - [9] Highway Capacity Manual-HCM-2010. Transportation Research Board, National Research, Omnipress, 2010
  - [10] Stanisław A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. StatSoft, Kraków, 2007
  - [11] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka. WKŁ, Warszawa, 2008