**Przegląd Geograficzny**
2022, 94, 2, s. 219-233
https://doi.org/10.7163/PrzG.2022.2.3

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Polska Akademia Nauk

https://www.igipz.pan.pl/przeglad-geograficzny.html

# Okresowe zmiany prędkości poruszania się pojazdów po polskich drogach na przykładzie wybranych odcinków autostrad

# *Periodic changes in road-traffic speed as exemplified along selected sections of Polish motorway*

**Dominika Slawik[1] Jerzy Chmiel[1] Tomasz Dybicz[2]**

Politechnika Warszawska
[1]Wydział Geodezji i Kartografii
pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa
[2]Wydział Inżynierii Lądowej
al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa
d.k.slawik@gmail.com • jerzy.chmiel@pw.edu.pl • t.dybicz@il.pw.edu.pl

**Zarys treści**. Na podstawie danych z sondowania pojazdów wyliczono prędkości pojazdów przejeżdżających przez kilometrowe odcinki testowe, należące do trzech różnych polskich autostrad i znajdujące się na prostych fragmentach dróg. Ze zbioru zgromadzonego w ciągu czterech lat wybrano okresy, w których na sytuację drogową nie miały istotnego wpływu inne czynniki takie jak dni świąteczne, pogoda czy też prace konserwacyjne. Z godzinową rozdzielczością obliczono prędkości z jaką poruszały się pojazdy, a następnie poddano analizie ich zmienność w ciągu dnia oraz w ciągu roku. Na podstawie analizy wyników dla odcinków testowych stwierdzono, iż w przypadku pojazdów lekkich największą zmiennością wartości prędkości w ciągu dnia wyróżniają się fragmenty autostrady A8 będącej autostradową obwodnicą Wrocławia i częściowo wpisującej się w sieć drogową tego miasta. Natomiast największa zmienność wartości prędkości w ciągu roku dla pojazdów lekkich występuje na odcinkach autostrady A4 wykorzystywanej często w celach turystycznych i rekreacyjnych oraz będącej istotną trasą tranzytową i jedyną kompletną autostradą w kraju. W przypadku pojazdów ciężkich prędkości są niższe i nie ulegają znaczącym zmianom zarówno w ciągu dnia jak i w ciągu roku.

**Słowa kluczowe**: okresowe zmiany w ruchu drogowym, prędkości pojazdów, dane z sondowania pojazdów, czynniki wpływające na ruch drogowy.
***Keywords***: *periodic changes in road traffic, vehicle speeds, vehicle probe data, factors affecting road traffic.*

## Wstęp

Prędkości z jakimi samochody pokonują poszczególne odcinki trasy uzależnione są od szeregu czynników. Do najważniejszych z nich należą między innymi warunki techniczne, limity prędkości, stan techniczny nawierzchni, natężenie ruchu oraz warunki atmosferyczne.

Dla każdego odcinka drogi można wyznaczyć swobodną prędkość ruchu. Towarzyszy jej występowanie dobrych warunków atmosferycznych oraz relatywnie małego natężenia i gęstości ruchu. W takich warunkach kierowcy samochodów mają zupełną swobodę manewrów wyprzedzania wolniej jadących pojazdów czy zmiany pasa ruchu i mogą zachowywać duże odstępy od innym pojazdów. Gdy dochodzi do wzrostu natężenia i gęstości ruchu swoboda wykonywania manewrów oraz utrzymywania preferowanej odległości

od poprzedzających pojazdów maleje. W efekcie dochodzi do spowolnienia ruchu. Związki jakie zachodzą pomiędzy natężeniem, gęstością i prędkością ruchu opisane są w postaci fundamentalnych zależności i wykorzystywane do analiz przepustowości dróg (Olszewski et al., 2020).

Niemniej jednak zależności te odnoszą się jedynie do sytuacji wyidealizowanych i przez to mają ograniczone zastosowanie do przeprowadzania analiz niezawodności oraz w zarządzaniu ruchem w czasie rzeczywistym. Analizy niezawodności i dynamiczne zarządzanie ruchem wykonywane są dla wszystkich dni w roku i muszą uwzględniać również występowanie zróżnicowanych warunków pogodowych i możliwych zakłóceń ruchu.

W literaturze odnaleźć można wiele badań dotyczących zależności i wpływu różnorodnych czynników na ruch drogowy, a w szczególności na prędkości pojazdów. Gaca et al. (2014), poza własnościami dynamicznymi pojazdu, wśród czynników wpływających na prędkość pojazdów poruszających się po drodze wyróżniają: cechy geometryczne drogi, stan nawierzchni, natężenie i strukturę rodzajową ruchu, warunki atmosferyczne, organizację ruchu i jego nadzór, zachowanie innych uczestników ruchu, stan emocjonalny kierujących pojazdami oraz czynniki losowe. Dodają, iż zmiany prędkości mogą przybierać postać wahań chwilowych lub długoterminowych zmian, w tym o charakterze cyklicznym. W przypadku USA opracowano wskaźniki redukujące prędkości swobodne pojazdów oraz przepustowości dróg. Wskaźniki te dotyczą m.in. opadów deszczu i śniegu o różnej intensywności oraz różnych stopni ograniczenia widoczności (*Highway Capacity Manual,* 2016). Natomiast Jarmuż i Chmiel (2020) analizując dotychczas przeprowadzane badania dotyczące wpływu pogody na parametry ruchu drogowego wskazują na zainteresowanie naukowców różnymi typami testowanych parametrów ruchu, istotność poszczególnych czynników meteorologicznych, odmienność regionów, typów dróg, nawyków kierowców i ograniczeń prawnych, a także na różnorodność metod badawczych, źródeł pozyskiwanych danych i okresów dla których je gromadzono.

Niniejszy artykuł dotyczy wybranego zakresu zagadnień związanych z ruchem drogowym i jest oparty na badaniach własnych dotyczących okresowych zmian w prędkościach poruszania się pojazdów po polskich drogach. Jest to krok w dążeniu do zwiększania dokładności określania warunków ruchu drogowego, jego przewidywania i ujmowania w schematy oraz poznawania czynników mających na niego wpływ. Znajomość okresowych zmian w prędkościach pojazdów znajduje zastosowanie w modelowaniu ruchu drogowego w ośrodkach takich jak m.in. Krajowe Centrum Zarządzania Ruchem.

Autorzy dołożyli starań w celu minimalizacji wpływu różnych czynników, takich jak: zmiana charakteru odbywanych podróży, brak naturalnego oświetlenia, niesprzyjające warunki meteorologiczne oraz przebieg drogi wraz z geometrią odcinka. Jako przedziały czasowe zaproponowano dwie osobne agregacje, z których pierwsza odnosi się do wartości wyliczonej dla miesiąca kalendarzowego, a druga dla godziny zegarowej dnia roboczego. Aby zawęzić obszar badań posłużono się przykładem wybranych odcinków autostrad, określonym typem pojazdów i wyselekcjonowanymi warunkami meteorologicznymi oraz ograniczonym okresie gromadzenia danych pomiarowych.

W literaturze przedmiotu szczególnie istotne dla porównań z niniejszą analizą są doświadczenia zdobyte przez naukowców w zbliżonych warunkach ruchu i dla regionów o podobnych przyzwyczajeniach kierowców. Brilon i Ponzlet (1996), na podstawie badań przeprowadzonych na niemieckich autostradach, w swoim projekcie dążyli do określenia typowych fluktuacji średnich prędkości na drogach, które nie są wynikiem różnych natę-

żeń. Jako podstawowe czynniki wpływające na ruch drogowy oprócz natężenia i struktury rodzajowej ruchu wskazali również na zależność od czasu. Ich badania pokazały, że istnieją dwa rodzaje wpływów zależnych od czasu. Pierwszy z nich to czynniki środowiskowe, takie jak światło dzienne lub ciemność oraz warunki pogodowe, gdzie ciemność powoduje średnie zmniejszenie prędkości o około 5 km/h, a stan mokrej nawierzchni jezdni zmniejsza prędkości o około 10 km/h. Natomiast drugi wynika ze zróżnicowanych zachowań kierowców i struktury rodzajowej typów pojazdów w ruchu. Można tu znaleźć wahania sezonowe w ciągu roku, a także w ciągu dni tygodnia. W ruchu przeważnie rekreacyjnym, takim jak obserwowany w niedziele lub letnie wakacje, obserwowane średnie prędkości są niższe.

Całkiem inne podejście do tematu zaprezentowali Kilpeläinen i Summala (2006). Przeprowadzone przez nich badanie dotyczyło wpływu niekorzystnych warunków meteorologicznych oraz prognoz przewidujących niesprzyjającą pogodę na zachowanie kierowców w Finlandii. Analizom poddali wyniki specjalnie do tego celu przygotowanych ankiet i odpowiedzi udzielone w kwestionariuszach przez podróżujących, czyli subiektywną samoocenę zachowania kierowców. Na tej podstawie stwierdzili, że nocą, gdy brakuje naturalnego oświetlenia, średnie prędkości zredukowane są o 2,7 km/h. Co więcej, według ich danych czynniki interferują, np. opady śniegu sprawiają, że kierowcy zwalniają o 1,6 km/h, ale nałożenie się jednocześnie opadów śniegu i braku naturalnego oświetlenia wpływa na obniżenie prędkości o 5,1 km/h.

Również w pracy Yao et al. (2020) zwrócono uwagę na różnice w sile wpływu opadów atmosferycznych w zależności od okresu przeprowadzenia badania. Według publikowanych przez tych naukowców badań z powodu opadów deszczu prędkość na drogach spada o 6,20% w dni powszednie i o 2,37% w weekendy. Poza dłuższymi okresami wydzielanymi na potrzeby analiz, jakimi mogą być sezony, miesiące, dni tygodnia czy podział doby na dzień i noc, zwrócili oni również uwagę na zachowania kierowców w bardziej szczegółowej rozdzielczości czasowej. Na podstawie liczby przejazdów odbywanych taksówkami oszacowali, że dla mieszkańców Shenzhen w dni powszednie największy popyt na podróże występuje w dwugodzinnych okresach: 08:00-10:00, 14:00-16:00 oraz 18:00-20:00.

Problem cykliczności rozważać można także z perspektywy innych parametrów ruchu. Ścieszko i Papiernik (2013), analizując roczny i tygodniowy przebieg zdarzeń drogowych w województwie łódzkim w ciągu pięciu lat, również dopatrzyły się występowania okresowych zmian. Według ich analiz, średnia dobowa liczba wypadków była najniższa w styczniu, lutym i grudniu, natomiast od marca wartości systematycznie wzrastały by w czerwcu, wrześniu i październiku osiągnąć maksimum. Odwrotne wnioski wyciągnęły w przypadku kolizji, gdyż chłodne miesiące charakteryzowały się podwyższeniem wartości, natomiast w miesiącach letnich kolizji było mniej. Stwierdzono również, że liczba zdarzeń drogowych wykazuje cykl tygodniowy, gdzie najwyższe wartości przypadają na piątek, a najniższe na niedziele. Wiele z zaobserwowanych zależności autorki artykułu tłumaczą zmianami występującymi w natężeniu ruchu.

Poza szczególnym doborem badanych parametrów ruchu warto również zwrócić uwagę na lokalizację miejsca badania. Jak opisują Qi et al. (2020) dla obserwacji przeprowadzonych w Brisbane w Australii, ruch uliczny wzmaga się w dni deszczowe, zwłaszcza w dni powszednie, a niekorzystna pogoda ma większy wpływ na zmiany w centrach miast, takich jak dzielnice biznesowe, w porównaniu z obszarami przedmieść. Jednak opady deszczu

zwiększają też prawdopodobieństwo, że w sobotę natężenie ruchu ulegnie zmniejszeniu, ze względu na ograniczenie liczby podróży dokonywanych w celach rekreacyjnych.

Powracając jednak do czynnika prędkości z jaką poruszają się po drogach pojazdy, jako analizowanego parametru ruchu, należy określić metodę przy pomocy której pomiary będą przeprowadzane. Jedną z dostępnych możliwości jest technika opracowywania danych z sondowania pojazdów (*probe vehicle data*), w literaturze spotykana również w postaci skrótu FCD (od *floating car data*). Według Olszewskiego et al. (2018) metoda ta może z powodzeniem służyć do analizy niezawodności czasów przejazdu oraz w celu określenia, gdzie, kiedy i jak często występują zatory na poszczególnych odcinkach dróg. Na podstawie badań pilotażowych przeprowadzonych dla fragmentu polskiej autostrady A2 naukowcy z Politechniki Warszawskiej i Politechniki Gdańskiej określili dokładność danych z sondowania pojazdów jako wystarczającą do pomiaru zmian prędkości zarówno w ruchu zatłoczonym, jak i swobodnym. Precyzując wyniki określili błąd średniokwadratowy jako 5,5% dla interwału 1 godziny podczas porównania z manualnymi pomiarami czasu przejazd.

## Dane źródłowe i metody ich przetwarzania

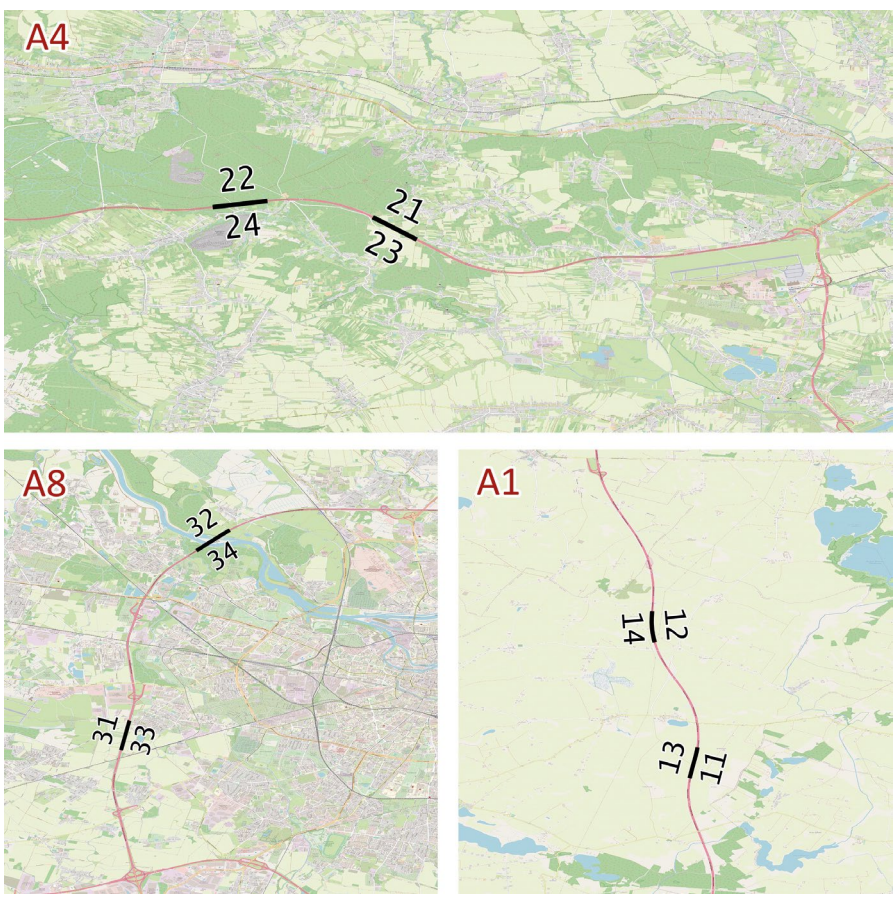
### Zakres danych

Do przeprowadzenia badań przygotowano dane z czterolecia (01.2014-12.2017). Mając na względzie odrębne ograniczenia dopuszczalnych prędkości i styl jazdy pojazdów odmienny w zależności od jego typu, posłużono się obserwacjami zarówno z pojazdów lekkich jak i ciężkich. Jako pola testowe wybrano kilometrowe odcinki autostrad, wszystkie mające zbliżoną, nieskomplikowaną geometrię (bez zakrętów i bez wzniesień terenu). Każdy z nich ma przynajmniej 2 pasy ruchu oraz pas awaryjny i znajduje się na terenie Polski, więc podlega jednolitym przepisom prawa drogowego. Odcinki znajdują się w pobliżu aglomeracji miejskich, jednak na fragmentach znajdujących się poza ich centrum. Drogi te wykorzystywane są jako obwodnice dużych miast lub trasy dojazdowe do nich. Unikano odcinków należących do węzłów sieci drogowej, punktów poboru opłat i zlokalizowanych w pobliżu miejsc obsługi podróżnych. Trasy te wybrano ze względu na spodziewane wysokie natężenie ruchu pojazdów, czyli dużą próbę do wyliczenia średnich prędkości pojazdów oraz lokalizację w pobliżu stacji synoptycznych, aby odniesienie do sytuacji meteorologicznej było wiarygodne. Przykładowy przebieg odcinka testowego przedstawia rycina 1. Ilustracje poglądowe do zlokalizowania położenia wszystkich odcinków testowych przedstawia rycina 2.

### Dane o prędkościach pojazdów

Wyznaczenie prędkości występujących w zadanych okresach na testowanych odcinkach umożliwiły dane pochodzące z sondowania pojazdów (technologia Vehicle Probe Data). Dane lokalizacyjne otrzymano dzięki uprzejmości firmy CETraffic. Według szacunków flota, której danymi operuje firma CE-Traffic liczyła w analizowanym okresie ponad 110 tys. pojazdów, z czego około 60% to pojazdy lekkie. Dodatkowo zbiór wzbogacały dane z aplikacji oraz urządzeń do osobistej nawigacji GPS, co sprzyja zróżnicowaniu charakteru przejazdów uwzględnianych podczas analiz.

**Ryc. 1.** Odcinki testowe na autostradzie A4
*The test-sections along the A4*
Opracowanie własne (wykorzystany podkład mapy – www.geoportal.gov.pl; © 2022 Główny Urząd Geodezji i Kartografii)




**Ryc. 2.** Odcinki testowe na autostradzie A4, A8 i A1
*The test-sections along the A4, A8 and A1*
Opracowanie własne (wykorzystany podkład mapy – www.openstreetmap.pl; © autorzy OpenStreetMap)

Technologia Vehicle Probe Data bazuje na sygnałach z nadajnika pojazdu wysyłanych z częstotliwością od kilku sekund do jednej minuty (najczęściej jest to interwał 10 sekund). Częstotliwość zależna jest od urządzenia oraz zwiększa się w przypadku zmiany kierunku ruchu, co pozwala na dokładne odwzorowanie pokonywanej trasy. Główną informacją wysyłaną przez pojazd jest jego bieżące położenie oraz czas, którego to położenie dotyczy, natomiast pełny raport nadawany z urządzenia zawiera różnego rodzaju atrybuty[1]

Identyfikator każdego urządzenia jest anonimowy i ulega regularnym zmianom w celu uniemożliwienia śledzenia użytkownika. Czas zarejestrowania położenia pojazdu zapisywany jest z dokładnością sekundy w UTC, a współrzędne geograficzne w układzie WGS84. Rejestrowana prędkość pojazdu to prędkość chwilowa.

W danych źródłowych za pomocą kodu pojazdom przypisany jest jeden z typów, informujących o ich rodzaju (pojazdy osobowe, pojazdy ciężarowe, busy i autobusy). Mając na względzie istniejące w Polsce ograniczenia dopuszczalnych prędkości, a także styl jazdy kierowców, podział ten uproszczono stosując jedynie dwie kategorie: pojazdów lekkich i pojazdów ciężkich. Jako pojazdy lekkie zaklasyfikowano pojazdy do 3,5 tony, co posługując się wytycznymi GDDKiA można uznać za typy samochodów osobowych i lekkich samochodów ciężarowych. Natomiast pojazdy ciężkie można określić jako samochody ciężarowe powyżej 3,5 tony, z przyczepą lub bez. Dodatkowo przeanalizowano sposób jazdy na dłuższych odcinkach i z podzbiorów określonych na podstawie danych źródłowych wyeliminowano przejazdy dla których sposób jazdy sygnalizował przynależność do innych kategorii.

W celu przeprowadzenia analiz nie wykorzystano wartości atrybutu prędkości chwilowej, a obliczono prędkości odcinkowe. Posługując się zapisem czasu określającym momenty, w których pojazd znalazł się najbliżej początku i końca odcinka wyinterpolowano czas pokonania kilometrowego odcinka testowego i na tej podstawie obliczono prędkość pojazdu. Przetworzenie wejściowych danych w postaci raportów z urządzeń w formacie tekstowym na zbiór odcinkowych prędkości przejazdów dla zadanych lokalizacji i przedziałów czasowych wykonano przy pomocy skryptów napisanych specjalnie w tym celu w języku programowania Python w wersji 2.7 oraz z wykorzystaniem baz danych PostgreSQL przy użyciu biblioteki psycopg2. Do interpolacji czasu, w którym pojazd znalazł się na początku i na końcu odcinka posłużyła biblioteka scipy i jej funkcja interpolacji jednowymiarowej. Pomiary zapisano w czasie lokalnym.

## Dane uzupełniające

W celu porównywania sytuacji na drogach jedynie w okresach, w których na prędkości pojazdów nie miały wpływu inne czynniki lub ich wpływ był minimalny, niezbędne jest uzupełnienie zbiorów o inne źródła. Za istotne czynniki, które mogą zakłócać wyniki badania uznano: warunki pogodowe, zmiany w organizacji ruchu, brak światła dziennego (pora nocna) oraz zmniejszenie natężenia ruchu w stosunku do dnia roboczego tzn. święta, weekendy i inne dni wolne od pracy.

Aby zminimalizować wpływ czynnika pogodowego, niezbędne było uzupełnienie zbiorów o dane meteorologiczne. Jako źródło danych określających warunki pogodowe wykorzystano zbiory udostępniane z rozdzielczością godzinową przez Instytut Meteoro-

[1] ImportTimeStamp|Supplier; RowId; UserID; TimeStamp; Longitude; Latitude; Speed; Heading; Type; Ignition I03/04/201900:21:55|1;1611420;706665;2019-04-03T00:21:45Z; 21.45182;49.726132;80;0;1;1

logii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy oraz dane meteorologiczne udostępniane z rozdzielczością pół godziny przez portal Weather Underground. Spośród ogółu odrzucono okresy, w których rejestrowano warunki sugerujące negatywny wpływ pogody na ruch drogowy, czyli występowanie przynajmniej jednego spośród następujących czynników:

- opad atmosferyczny,
- pokrywa śnieżna,
- prędkość wiatru >10,7 m/s,
- widzialność ≤2 km,
- ciśnienie atmosferyczne <970 hPa,
- temperatura powietrza ≤5°C lub ≥25°C,
- usłonecznienie >0,33 dla okresów przed upłynięciem 3 godz. od wschodu bądź od momentu 3 godz. przed zachodem, tzn. gdy słońce znajdowało się nisko nad horyzontem

Pozwoliło to na zachowanie do dalszych etapów jedynie danych z okresów w których pogoda nie powinna mieć wpływu na ruch drogowy.

W kolejnym etapie wzbogacania zbiorów o dodatkowe dane zainteresowano się źródłami dotyczącymi zmian w organizacji ruchu. Bezpośrednią informację o utrudnieniach w ruchu drogowym publikuje na bieżąco Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) na swojej stronie internetowej. Aby jednak skorzystać z archiwalnych zdarzeń z lat 2014-2018 posłużono się zbiorami firmy CE-Traffic generowanymi pod nazwą Event Service, których jednym ze źródeł zasilania danymi są publikacje GDDKiA. W zadanym okresie, na badanych odcinkach nie odnaleziono ostrzeżeń o istotnych zmianach w organizacji ruchu.

Ostatecznie zbiór danych zredukowano do dni roboczych, a także godzin w których występowało naturalne światło dzienne. Oznacza to, że poza sobotą i niedzielą z zasobów wyeliminowano obserwacje zarejestrowane w dniach nietypowych, takich jak święta oraz porę nocną. Identyfikację i odfiltrowanie odpowiednich dat umożliwiło wykorzystanie podczas przetwarzania danych biblioteki *holidays*. Krok ten pozwolił na zredukowanie wpływu na wyniki badań czynników takich jak charakter odbywanych podróży, typ przemieszczających się kierowców oraz zmiany w natężeniu ruchu. Natomiast do identyfikacji momentu wschodu i zachodu słońca dla każdej z dat i każdej z lokalizacji z osobna użyto biblioteki *astral*. Korzystając z tej informacji ze zbioru odfiltrowano przejazdy zarejestrowane w nocy, w chwilach gdy słońce znajdowało się na horyzoncie, jak również te do godziny po wschodzie słońca i do godziny przed zachodem słońca. Eliminacja tych danych ze zbioru pozwoliła uniknąć wpływu na prędkości czynnika jakim niewątpliwie jest ograniczenie widoczności po zmroku, podczas „szarówki" oraz wschodu i zachodu słońca.

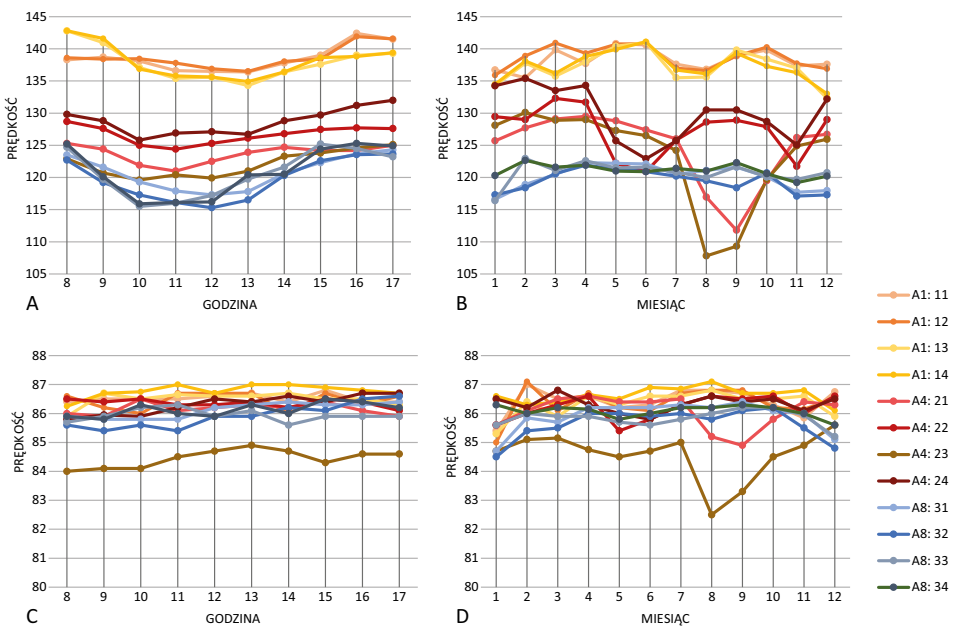
## Zestawienie danych do analiz

Przygotowanie podzbioru danych rejestrujących jedynie przejazdy w optymalnych warunkach meteorologicznych, bez utrudnień występujących w ruchu drogowym oraz wyłącznie w dni robocze pozwoliło na przejście do kolejnego etapu przetwarzania danych. Przy wykorzystaniu skryptu i biblioteki *numpy* dokonano agregacji według czasu rejestracji przejazdu na przedziały godzinowe i miesięczne wyliczając wartości środkowe ze zgromadzonych prędkości przejazdów. Spośród cech statystycznych wybrano medianę jako

wartość odporną na elementy odstające. Powstały zbiory, dla których poza określeniem przedziału czasowego, którego dotyczyły, istotna była informacja o typie pojazdów i lokalizacji odcinka. W ten sposób wyznaczone wartości gotowe były do przeprowadzenia analiz okresowych zmian w prędkościach poruszania się pojazdów po wybranych odcinkach polskich autostrad.

## Wyniki

Dysponując gotowymi zbiorami prędkości zagregowanymi na przedziały godzinowe i miesięczne przystąpiono do analizy otrzymanych wartości. Zmiany prędkości przejazdów obserwowanych na przestrzeni czasowej najlepiej odczytuje się na odpowiednich wykresach. Rycina 3 ukazuje zagregowane prędkości pojazdów we wzorcowych warunkach w zależności od czasu kolejno na przestrzeni dnia roboczego i na przestrzeni roku oraz osobno dla pojazdów lekkich i pojazdów ciężkich. Każdy z wykresów na rycinie zawiera informacje dla czterech kilometrowych odcinków (po dwa w każdym kierunku), dla trzech różnych autostrad, czyli łącznie dla dwunastu odcinków testowych. Dodatkowo, aby zwiększyć dokładność odczytywania wartości dla każdego odcinka z osobna, przedstawiono te same zbiory wyników w odniesieniu do maksymalnej dopuszczalnej prędkości 140 km/h dotyczące pojazdów lekkich w formie tabelarycznej (tab. 1, 2).




**Ryc. 3.** Zmienność prędkości w warunkach wzorcowych dni roboczych dla poszczególnych odcinków testowych autostrad.
A – w ciągu dnia dla pojazdów lekkich; B – w ciągu roku dla pojazdów lekkich; C – w ciągu dnia dla pojazdów ciężkich; D – w ciągu roku dla pojazdów ciężkich.
*Variability of speed under reference working-day conditions for the different Motorway test-sections*

Przygotowane zestawienia pokazują, że prędkości pojazdów lekkich, pomimo ograniczenia czynników mogących wpływać na zmiany, nie są identyczne w przeciągu dnia ani na przestrzeni roku. Rycina 3A przedstawiająca zmienność w ciągu dnia prędkości we wzorcowych warunkach dni roboczych dla pojazdów lekkich ukazuje dla wszystkich badanych

**Tabela 1.** Zmienność w ciągu dnia prędkości mierzonych w warunkach wzorcowych dni roboczych dla pojazdów lekkich na testowanych odcinkach autostrad. Wartości w odniesieniu do maksymalnej dopuszczalnej prędkości 140 km/h
*Daytime variability in the speeds of light vehicles under reference working-day conditions along the Motorway test-sections. Values related to the 140 km/h speed limit*

| | A1 | | | | A4 | | | | A8 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| godzina | 11 | 12 | 13 | 14 | 21 | 22 | 23 | 24 | 31 | 32 | 33 | 34 |
| 8 | -2 | -1 | 3 | 3 | -15 | -11 | -17 | -10 | -17 | -17 | -15 | -15 |
| 9 | -1 | -2 | 1 | 2 | -16 | -12 | -19 | -11 | -18 | -21 | -20 | -20 |
| 10 | -2 | -2 | -3 | -3 | -18 | -15 | -20 | -14 | -21 | -23 | -25 | -24 |
| 11 | -3 | -2 | -5 | -4 | -19 | -16 | -20 | -13 | -22 | -24 | -24 | -24 |
| 12 | -4 | -3 | -4 | -4 | -18 | -15 | -20 | -13 | -23 | -25 | -23 | -24 |
| 13 | -4 | -4 | -6 | -5 | -16 | -14 | -19 | -13 | -22 | -24 | -20 | -20 |
| 14 | -2 | -2 | -4 | -4 | -15 | -13 | -17 | -11 | -19 | -20 | -18 | -20 |
| 15 | -1 | -2 | -2 | -1 | -16 | -13 | -16 | -10 | -18 | -17 | -15 | -16 |
| 16 | 2 | 2 | -1 | -1 | -16 | -12 | -15 | -9 | -16 | -16 | -16 | -15 |
| 17 | 2 | 2 | -1 | -1 | -15 | -12 | -15 | -8 | -16 | -16 | -17 | -15 |

**Tabela 2.** Zmienność w ciągu roku prędkości mierzonych w warunkach wzorcowych dni roboczych dla pojazdów lekkich na testowanych odcinkach autostrad. Wartości w odniesieniu do maksymalnej dopuszczalnej prędkości 140 km/h
*Variability in the speeds of light vehicles across the year, under reference working-day conditions for the Motorway test-sections. Values related to the 140 km/h speed limit*

| | A1 | | | | A4 | | | | A8 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| miesiąc | 11 | 12 | 13 | 14 | 21 | 22 | 23 | 24 | 31 | 32 | 33 | 34 |
| 1 | -3 | -4 | -6 | -6 | -14 | -11 | -12 | -6 | -23 | -23 | -24 | -20 |
| 2 | -5 | -1 | -2 | -2 | -12 | -11 | -10 | -5 | -21 | -22 | -17 | -17 |
| 3 | 0 | 1 | -4 | -4 | -11 | -8 | -11 | -7 | -20 | -19 | -19 | -18 |
| 4 | -2 | -1 | -2 | -1 | -11 | -8 | -11 | -6 | -18 | -18 | -17 | -18 |
| 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | -11 | -18 | -13 | -14 | -18 | -19 | -19 | -19 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | -13 | -19 | -14 | -17 | -18 | -19 | -18 | -19 |
| 7 | -2 | -3 | -5 | -3 | -14 | -14 | -16 | -14 | -20 | -20 | -19 | -19 |
| 8 | -3 | -3 | -4 | -4 | -23 | -11 | -32 | -10 | -19 | -21 | -20 | -19 |
| 9 | -1 | -1 | 0 | -1 | -28 | -11 | -31 | -10 | -18 | -22 | -18 | -18 |
| 10 | 0 | 0 | -2 | -3 | -21 | -12 | -20 | -11 | -20 | -19 | -20 | -19 |
| 11 | -3 | -2 | -3 | -4 | -14 | -18 | -15 | -15 | -22 | -23 | -20 | -21 |
| 12 | -2 | -3 | -8 | -7 | -13 | -11 | -14 | -8 | -22 | -23 | -19 | -20 |

odcinków najniższe wartości w porze okołopołudniowej. Najsilniej trend ten zarysowuje się dla autostrady A8, będącej obwodnicą Wrocławia, ze spadkiem prędkości sięgającym do 10 km/h. Natomiast wykres zmienności w ciągu roku prędkości w warunkach wzorcowych z dni roboczych dla pojazdów lekkich nie wykazuje tego samego trendu dla każdego z badanych odcinków. Dla autostradowej obwodnicy Wrocławia A8 najniższe wartości występują w miesiącach zimowych. Podobnie odcinki autostrady A1 na północ od Torunia charakteryzują się niższymi wartościami zimą, a dodatkowy spadek zaobserwować można w miesiącach wakacyjnych. Natomiast największe amplitudy prędkości rejestrowane są na autostradzie A4, szczególnie na odcinkach zlokalizowanych bliżej węzła Balice.

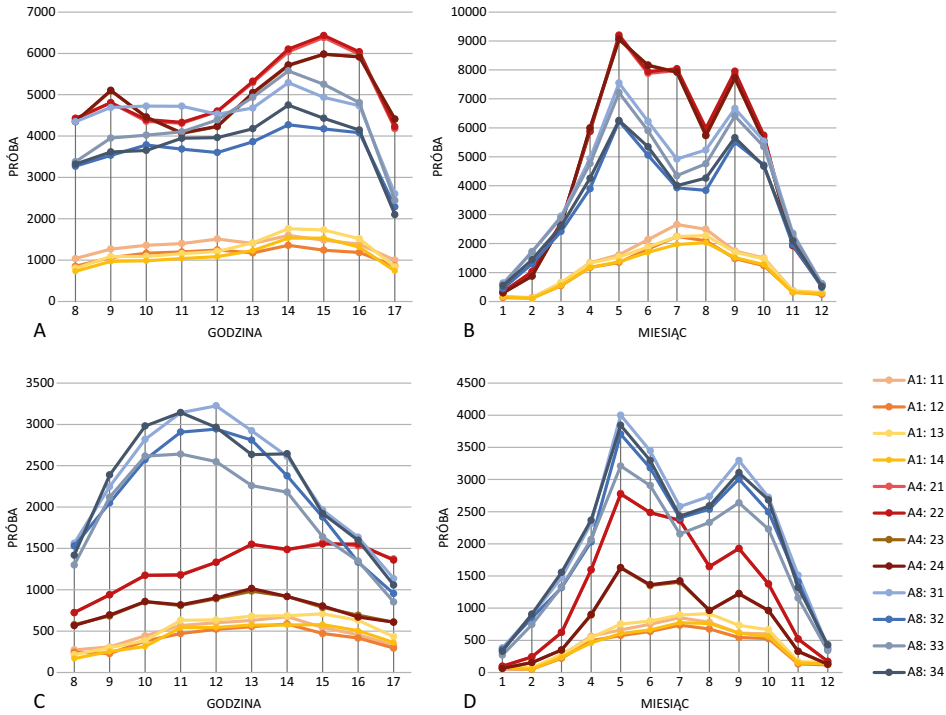
Istotne zmiany prędkości na badanych odcinkach zauważalne są jednak tylko w przypadku pojazdów lekkich. Zarówno wykres zmienności prędkości w ciągu dnia jak i wykres zmienności prędkości w ciągu roku dla pojazdów ciężkich dla większości odcinków przedstawia stałą prędkość 86 km/h z nieznacznymi wahaniami. Jedynie odcinek autostrady A4 o numerze 23 raportuje wartości niższe o około 2 km/h od pozostałych. Prawdopodobnie przyczyną tej różnicy jest punkt poboru opłat (PPO Balice) znajdujący się w odległości 7 km od badanego odcinka, a w konsekwencji powolne rozpoczęcie procesu wytracania prędkości już na tym dystansie dla pojazdów o dłuższej drodze hamowania.

Mimo że dane pochodzące ze źródeł GDDKiA, a także przegląd internetowych wiadomości nie wykazały żadnych doniesień o prowadzonych robotach drogowych, zmianach w organizacji ruchu ani innych utrudnień to zastanawiające okazują się wyniki dla odcinka autostrady A4 o numerze 23, a także, choć w mniejszym stopniu, dla odcinka tej samej trasy w przeciwnym kierunku o numerze 21. W sierpniu i wrześniu wyliczone prędkości są wyraźnie niższe niż w pozostałych okresach. W tym przypadku nie można wykluczyć niedoskonałości użytych w projekcie danych źródłowych raportujących utrudnienia w ruchu drogowym (tab. 2).

Warto również zwrócić uwagę na stosunkowo dużą liczbę przejazdów, na której opierało się badanie, co obrazuje rycina 4. Pomimo znacznej dysproporcji pomiędzy trasami, miesiącami oraz typami pojazdów, próba z przejazdów dla pojazdów lekkich nie spada poniżej 100, a dla pojazdów ciężkich poniżej 50. Zdecydowana mniejsza próba pojazdów dla miesięcy zimowych spowodowana jest zastosowaniem kryteriów dotyczących warunków meteorologicznych, czyli odrzuceniem ze zbioru wartości przejazdów z okresów, w których rejestrowano warunki sugerujące negatywny wpływ pogody na ruch drogowy.

## Dyskusja

Pierwszą z konkluzji nasuwającą się po analizie wyników jest wpływ czynnika jakim jest natężenie ruchu pojazdów na wartości prędkości. Zagadnienie to odnosi się do problemu empirycznego wyznaczania krzywych opisujących funkcyjną zależność prędkości od natężenia ruchu. Jak twierdzi Gaca et al. (2014), z reguły, jeśli sytuacja nie dotyczy dużych natężeń ruchu, każdy z kierujących może swobodnie wybierać prędkość jazdy. W ramach badań, których wyniki opisano w niniejszym opracowaniu nie jest możliwe szersze odniesienie się do tego problemu, gdyż nie jest łatwo o dostęp do danych opisujących dokładną liczbę pojazdów. W tak długim okresie badań (4 lata) stosowne zbiory pomiarowe uzyskać można jedynie dla miejsc o wbudowanej na stałe infrastrukturze, np. odcinków włączonych do systemu ITS (Inteligentnych Systemów Transportowych) lub lokalizacji w pobliżu




**Ryc. 4.** Próba pojazdów dla wyliczonych prędkości w warunkach wzorcowych dni roboczych dla poszczególnych odcinków testowych autostrad
A – w ciągu dnia dla pojazdów lekkich; B – w ciągu roku dla pojazdów lekkich; C – w ciągu dnia dla pojazdów ciężkich; D – w ciągu roku dla pojazdów ciężkich.
*Vehicle sample sizes for calculated speeds under reference working-day conditions for Motorway test-sections*

SCPR (Stacji Ciągłych Pomiarów Ruchu). W zbiorach udostępnianych przez GDDKiA w przypadku danych z 2014 r. na autostradach zapisano raporty natężenia z ośmiu stanowisk. Biorąc pod uwagę inne założenia doboru lokalizacji testowych nie można było powiązać ze sobą danych o prędkościach pojazdów i natężeniu ruchu. Szerzej o zagadnieniu zastosowania danych z sondowania pojazdów i danych o natężeniu ruchu do budowania oraz kalibrowania funkcji uzależniających prędkości potoku pojazdów od natężenia ruchu przeczytać można w publikacji Dybicza (2015), który pozytywnie ocenia wyniki i ukazuje możliwości, jakie za tym rozwiązaniem płyną.

Zgłębiając wnikliwiej temat zmian prędkości pojazdów, a także traktując go jako powiązany ze zmianami w natężeniu ruchu, nasuwa się spostrzeżenie o możliwości wnioskowania odnośnie charakteru ruchu i rodzaju odbywanych podróży. Jak wymienia Gaca et al. (2014) do analizy wahań ruchu warto uwzględnić między innymi czynnik opisujący rodzaj ruchu z proponowanym podziałem na: miejski, podmiejski, pozamiejski, osobowy i towarowy, praca i nauka/dom, zakupy, weekendowy, turystyczny, jak również czynnik czasu: pora roku, dzień tygodnia, pora dnia, przedział czasu w godzinie. Podczas rozważania wymienionych zależności szczególnie interesujące wydaje się położenie autostrady A8 jako obwodnicy Wrocławia częściowo wpisującej się w miejską sieć drogową. Na odcinkach należących do tej trasy zaobserwować można wyższą niż w przypadku pozostałych dróg

zmienność ruchu w ciągu doby. Prędkości raportowane w godzinach 10-12 w stosunku do godzin popołudniowych są niższe nawet o około 10 km/h. Natomiast autostrady A1 i A4 mają w przypadku Polskiej sieci drogowej duże znaczenie dla ruchu turystycznego i rekreacyjnego z powodu ich położenia kolejno względem wybrzeża Bałtyku oraz wobec Krakowa i trasy do Zakopanego. Jednakże przeprowadzona analiza nie dotyczy weekendów, świąt ani innych dni wolnych od pracy, kiedy to tego typu podróże ulegają wzmożeniu. Tego typu różnice w wartościach prędkości notowanych dla dni szczególnych takich jak niedziele oraz podczas letniej pory roku potwierdzają wyniki badań, które opublikowali Brilon i Ponzlet (1996). W celu dokładnej analizy charakteru ruchu konieczne byłoby rozróżnienie również wyników dla poszczególnych dni tygodnia. Szczególnie poniedziałkowe poranki i piątkowe wieczory mogłyby wyróżniać się wynikami odbiegającymi od pozostałych okresów. Posiadając dokładne informacje o cykliczności i rodzaju zmian ruchu można by pokusić się o próbę identyfikacji charakteru dominujących typów podróży odbywanych na badanej trasie.

Kolejnym z czynników, istotnym podczas przeprowadzania analiz wahań ruchu, wymienianym przez Gacę et al. (2014) jest struktura rodzajowa ruchu. Wspomniani naukowcy wobec udziału poszczególnych rodzajów pojazdów w potoku ruchu występują z podziałem na pojazdy: osobowe, dostawcze, ciężarowe, ciężarowe z przyczepą, ciągniki siodłowe, autobusy, motocykle, rowery i inne. Jednak w literaturze opisującej wyniki przeprowadzanych badań częściej spotkać można uproszczoną klasyfikację dotyczącą jedynie udziału pojazdów ciężkich i pojazdów lekkich w ogólnym strumieniu pojazdów. Wyróżnienie tych dwóch głównych typów spowodowane jest między innymi odrębnymi przepisami ograniczającymi limity prędkości pojazdów ciężarowych, a także trwałe bądź okresowe uniemożliwienie poruszania się w przypadku niektórych dróg. Struktura rodzajowa może być też w otrzymanych wynikach badań trudna do interpretacji. Przykładem jest wyprzedzanie pojazdu ciężarowego przez inny pojazd ciężarowy na jezdni o dwóch pasach ruchu wpływające również na prędkości pojazdów osobowych, które znajdą się bezpośrednio za nimi. Istota wpływu pojazdów ciężkich na otaczający ruch zauważona jest również przez Moridpour et al. (2015). Naukowcy opisują iż wywierają one wpływ fizyczny i psychiczny na otaczający je ruch drogowy ze względu na swoje cechy takie jak długość i rozmiar oraz poprzez charakterystykę przyspieszania i hamowania. Ponadto podkreślają, że kierowcy pojazdów ciężarowych przeważnie utrzymują stałą prędkość i jest ona niższa niż prędkość pojazdów osobowych, co zaobserwować można również w wynikach badań opisywanych w tym artykule. Rozpatrując wymienione zależności względem wybranych odcinków testowych warto zwrócić uwagę na prędkości wyliczone dla autostrady A4, która jest szczególnie istotną trasą tranzytową łączącą Polskę z Niemcami i Ukrainą oraz jedyną zupełnie kompletną trasą tego typu w kraju.

## Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych analiz zaobserwowano okresowe zmiany prędkości w przypadku pojazdów lekkich. Największą dobową zmiennością wartości prędkości wyróżniają się odcinki należące do autostrady A8 będącej autostradową obwodnicą Wrocławia częściowo wpisując się w sieć drogową tego miasta. Natomiast największa zmienność wartości prędkości w ciągu roku występuje na fragmentach należących do autostrady A4

wykorzystywanej częściej w celach turystycznych i rekreacyjnych oraz będącej istotną trasą tranzytową i jedyną kompletną autostradą w kraju. W przypadku pojazdów ciężkich okresowych zmian prędkości nie zaobserwowano, wartości nie ulegają znaczącym zmianom zarówno w ciągu doby jak i w ciągu roku. Warto też zaznaczyć, że prędkości pojazdów ciężkich są dużo niższe niż prędkości pojazdów lekkich i niemal dla każdego z badanych odcinków przybierają wartości bliskie 86 km/h.

Dane z sondowania pojazdów wprowadzają nowe możliwości w analizach ruchu drogowego dzięki dostępności archiwalnych zbiorów danych z pominięciem etapu wcześniejszego planowania kampanii pomiarowych. Kontynuując przeprowadzone badania, warto rozszerzyć wyniki o analizy dla okresów całej doby i dla pozostałych dni, takich jak soboty, niedziele, święta, a nawet wydzielić ze zbioru dni roboczych poszczególne dni tygodnia. Rozwinięcie badań pozwoliłoby na szersze wnioskowanie odnośnie charakteru ruchu. Również zwiększenie liczby odcinków testowych, wzbogacenie o nowe typy, klasy, geometrie i lokalizacje tras poszerzyłoby możliwości wnioskowania. W szczególności dodatkowe lokalizacje zawierające licznik Stacji Ciągłego Pomiaru Ruchu stanowiłyby przykład zestawienia danych o prędkościach pojazdów z natężeniem ruchu. Analogicznie odfiltrowane zbiory, takie jak niesprzyjające warunki pogodowe, słońce położone nisko nad horyzontem lub okresy prowadzenia prac drogowych mogłyby posłużyć jako pole do kolejnych badań. Dodatkowe pozyskanie innych źródeł danych o natężeniu ruchu pojazdów oraz jego strukturze rodzajowej, a także przeprowadzenie ankiet wśród kierowców dotyczących celu odbywanej podróży, umożliwiłoby przeprowadzenie kompletnych analiz.

Analiza okresowych zmian prędkości poruszania się pojazdów, nawet przy ograniczeniu do wybranych odcinków dróg, daje szanse na lepsze zrozumienie sposobu użytkowania tras przez kierowców. Może być uważana za pierwszy etap podczas planowania innych, dokładniejszych kampanii pomiarowych, wymagających wcześniejszego przygotowania i użycia specjalistycznego sprzętu. Jednak już jako jednostkowe badanie daje podstawy do wnioskowania odnośnie charakteru ruchu i rodzaju odbywanych podróży, czyli daje również możliwość uniknięcia uciążliwego przeprowadzania ankiet wśród kierowców.

---

Ryciny i tabele, pod którymi nie zamieszczono źródła, są opracowaniami własnymi autorów artykułu.

## Piśmiennictwo

Gaca, S., Suchorzewski, W. & Tracz, M. (2014). *Inżynieria ruchu drogowego: teoria i praktyka*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.

Highway Capacity Manual, 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. (2016) Transportation Research Board, Washington, D.C.

Brilon, W. & Ponzlet, M. (1996). Variability of speed-flow relationships on German autobahns. *Transportation Research Record*, 1555, 91-98. https://doi.org/10.3141/1555-12

Dybicz, T. (2015). Zastosowanie danych z sondowania pojazdów do wykrywania lokalnych ograniczeń przepustowości. *Transport Miejski i Regionalny*, 5, 9-14.

Jarmuż, D. & Chmiel, J. (2020). A review of approaches to the study of weather's impact on road traffic parameters. *Transport Problems*, *15(*4/2), 241-251. https://doi.org/10.21307/tp-2020-063

Kilpeläinen, M. & Summala, H. (2006). Effects of weather and weather forecasts on driver behaviour. *Transportation Research*, Part F *10*(4), 288-299. https://doi.org/10.1016/j.trf.2006.11.002

Moridpour, S., Mazloumi, E. & Mesbah, M. (2014). Impact of heavy vehicles on surrounding traffic characteristics. *Journal of Advanced Transportation*, *49*(4), 535-552. https://doi.org/10.1002/atr.1286

Olszewski, P., Dybicz, T., Jamroz, K., Kustra, W. & Romanowska, A. (2018). Assessing highway travel time reliability using probe vehicle data. *Transportation Research Record*, *2672*(15), 118-130. https://doi.org/10.1177/0361198118796716

Olszewski, P., Dybicz, T., Kustra, W., Romanowska, A., Jamroz, K. & Ostrowski, K. (2020). Development of the new Polish method for capacity analysis of motorways and expressways. *Archives of Civil Engineering*, *66*(4), 453-470. https://doi.org/10.24425/ace.2020.135231

Qi, Y., Zheng, Z. & Jia, D. (2020). Exploring the spatial-temporal relationship between rainfall and traffic flow: a case study of Brisbane, Australia. *Sustainability*, *12*(14), 5596, 124. https://doi.org/10.3390/su12145596

Ścieszko, J. & Papiernik, Ż. (2013). Wpływ warunków atmosferycznych na zdarzenia drogowe na przykładzie województwa łódzkiego. *Folia Geographica Physica*, *12*, 97-115.

Yao, Y., Wu, D., Hong, Y., Chen, D., Zhaotang, L., Guan, Q. Liang, X. & Dai, L. (2020). Analyzing the effects of rainfall on urban traffic-congestion bottlenecks. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, *13*, 504-512. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2966591

## Summary

The speeds at which cars cover individual sections of a route depend on many factors, of which the most important relate to technical conditions in general or on the road surface, speed limits, volumes of traffic and weather conditions. This publication concerns a selected range of issues related to road traffic and is based on research conducted to show periodic changes in vehicle speeds along Polish roads. It represents a step towards increased accuracy of determination of road-traffic conditions, encouraging better prediction and discernment of patterns, as well as greater insight into influential factors. Knowledge of periodic changes in vehicle speeds gains further use in road-traffic modelling, for example at National Traffic Management Centres.

Calculations of the speeds of vehicles covering test-sections of Polish Motorways involved twelve kilometre-long segments of the A1, A4 and A8. Vehicle probe data collected over the four years 2014-2018 represented the source used in calculating speeds. From within the set of data, further consideration was confined to periods not impacted significantly by such other factors as public holidays, weekends, adverse weather, darkness or maintenance works. The speeds at which vehicles covered the selected sections were calculated, aggregated separately for the light and heavy categories, and then analysed for their daytime and annual variability.

Observed differences in speeds were presented in diagrams, with Fig. 5a for example showing daily variability of speeds achieved by light vehicles under standard working--day conditions. In this case, it is the time around midday that is associated with the lowest values along all sections of Motorway tested. The greatest daily variability in speeds in turn characterises the A8, which in fact as the status of Motorway bypass of Wroclaw, and can thus be treated as a part of that city's road network. Fig. 5b in turn shows light-vehicle speeds around the year under reference conditions from working days, and

indicates a different trend for each section tested. The most marked variability characterising speeds around the year is noted for the A4 – a Motorway more often serving tourism-related and recreational purposes, an important transit route, and in fact Poland's only fully-completed Motorway. Where heavy vehicles are concerned, speeds are found to be lower in general, but not greatly different in line with either time of day or month of the year. Almost all sections report a steady average speed of 86 km/h, with only slight fluctuations. Fig. 6 presents the number of journeys on which the study was based. Despite disproportions existing between routes, months and types of vehicle, the samples used in calculations for light vehicles never involved fewer than 100, and those for heavy vehicles a sample size of at least 50.

The first conclusion to be drawn from analysis of the results concerns the inevitable impact on speed of the "traffic volume" factor. However, "traffic vehicular structure" is another factor important in analyses of traffic fluctuations. Were this research to be developed further that would entail further-reaching inference in regard to the nature of traffic and types of trip being made. The research described here can thus be considered a first step in the planning of other, more-accurate measurement campaigns that will require greater preparation in advance, and well as resort to more-specialised equipment. The present homogeneous study nevertheless offers grounds for inferences as to both the nature of the traffic it describes, and the types of trips being made.

A continuation of research would thus extend analyses around the clock (covering 24-hour days rather than just "daytime"), as well as to other days of the week, such as Saturdays and Sundays, to holidays, and even to separate days of the week within the overall set of working days. The number of test-sections might also be increased, and enriched by new types, classes, geometries and locations of routes allowing for fuller inference. In particular, additional locations with Continuous Traffic Measurement Stations would provide for the fuller correlation of vehicle speeds with volumes of traffic. Similarly, filtered datasets factoring in adverse weather conditions, Sun low above the horizon and periods of road maintenance could all provide for more research of a more comprehensive nature.

[Wpłynęło: wrzesień; poprawiono: listopad 2021]