

BADANIA DOBOWYCH ZMIAN PRĘDKOŚCI NA ODCINKACH DRÓG I ULIC¹

STANISŁAW GACA

dr hab. inż., prof. PK, Politechnika
Krakowska, Wydział Inżynierii
Łądowej, Instytut Inżynierii
Drogowej i Kolejowej,
ul. Warszawska 24, 31-155,
Kraków, tel. 12 628-23-20,
sgaca@pk.edu.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono ogólne uwarunkowania wyboru prędkości w ruchu swobodnym przez kierujących pojazdami przy niekorzystnych warunkach oświetlenia drogi w nocy. Sformułowano hipotezę, że samo pogorszenie warunków percepcji obrazu drogi w nocy nie musi automatycznie powodować zmniejszenia prędkości pojazdów, jeśli równocześnie następuje poprawa innych warunków, decydujących o subiektywnej ocenie zagrożenia bezpieczeństwa ruchu. Na poparcie tej hipotezy przedstawiono wybrane wyniki prac innych autorów oraz opisano rezultaty własnych badań i analiz prędkości. Przedstawiono wybrane rezultaty obszernych badań wykonanych w trzech grupach poligonów badawczych o różnych charakterystykach geometrycznych i funkcjonalnych – na odcinkach dróg zamiejskich, na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości oraz na odcinkach ulic. Analizowano profile zmienności wartości prędkości średniej obliczanej w kolejnych godzinach doby. Wykazano, że profile te różnią się w zależności od lokalizacji drogi oraz pory roku. W przypadku odcinków przejść drogowych przez miejscowości oraz odcinków ulic stwierdzono występowanie trendu do wzrostu prędkości w ruchu swobodnym w okresach malejącej aktywności ruchowej w otoczeniu drogi/ulicy. Wzrost ten następował mimo pogorszenia się warunków oświetlenia drogi/ulicy.

Słowa kluczowe: ruch drogowy, prędkość pojazdów, bezpieczeństwo ruchu drogowego

Wprowadzenie

Prędkość pojazdów jest jedną z podstawowych charakterystyk ruchu wykorzystywanych w ocenach jego sprawności i bezpieczeństwa, a także w analizach wpływu ruchu na środowisko. W zależności od stopnia szczegółowości ocen i analiz należy posługiwać się różnymi parametrami prędkości, np. wartościami średnimi z różnych okresów odniesienia lub innymi miarami pozycyjnymi rozkładu prędkości rejestrowanych w ustalonych przedziałach czasu. Długość okresu rejestracji danych empirycznych, będących podstawą wyznaczania parametrów prędkości lub jej prognozy, decyduje o dokładności opisu ruchu pojazdów. Wpływ ten wynika ze zmienności w czasie części z uwarunkowań determinujących wybór prędkości przez kierujących pojazdami [1,2]

Prędkość, szczególnie w ruchu swobodnym, wynika z decyzji kierujących pojazdami, na które wpływ ma m.in. percepcja obrazu drogi, indywidualna ocena sytuacji na drodze, cechy osobowe oraz doświadczenie kierującego. W przypadku percepcji obrazu drogi i oceny sytuacji na drodze bardzo ważnymi są, zmieniające się w ciągu doby, warunki jej oświetlenia, a także sposób użytkowania drogi wraz z jej otoczeniem. Łącznie wpływają one na subiektywnie odczuwany przez kierującego pojazdem własny poziom zagrożenia bezpieczeństwa ruchu,

będący główną determinantą podejmowanych działań w ruchu drogowym. Oznacza to, że prędkość pojazdów w ruchu swobodnym w ciągu doby może się istotnie zmieniać. Dodatkowo można sformułować hipotezę, że samo pogorszenie warunków percepcji obrazu drogi nie musi automatycznie powodować zmniejszenia prędkości pojazdów, jeśli równocześnie ulegają zmianie inne warunki, decydujące także o subiektywnej ocenie własnego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu. W takim przypadku malejące, w subiektywnej ocenie kierującego, zagrożenie może powodować wzrost prędkości mimo gorszych warunków percepcji obrazu drogi.

Zmiana subiektywnej oceny zagrożenia bezpieczeństwa ruchu w ciągu doby dotyczy głównie tych odcinków dróg, na których wyraźnie zmienia się forma użytkowania ich przestrzeni w zależności od pory doby. Są to nie tylko zmiany natężenia ruchu, ale także jego rodzaju i aktywności generującej ruch w otoczeniu drogi. Z reguły malejąca aktywność w otoczeniu drogi, zmniejszające się natężenie ruchu pieszego, znikome natężenie ruchu przecinającego nadrzędną drogę będą powodować spadek subiektywnie ocenianego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu i w konsekwencji decyzje o zwiększaniu prędkości. Jeśli jednak równocześnie nastąpi pogorszenie warunków oświetlenia i tym samym percepcji drogi, to pojawi się łączny efekt działania przeciwstawnych wpływów. Ich sumą będzie subiektywnie oceniane własne zagrożenie bezpieczeństwa ruchu, które jest trudne do bezpośredniej kwantyfikacji. W sposób pośredni wyraża się ono m.in. poprzez wybór prędkości, która jest bardzo łatwa do pomiaru i tym samym może być wykorzystana do ilościowego lub jakościowego szacowania wspomnianego efektu działania przeciwstawnych wpływów.

Analizy danych o wypadkach jednoznacznie wskazują na wzrost zagrożenia bezpieczeństwa ruchu przy złych warunkach oświetlenia drogi. Wzrost ten jest efektem m.in. [3, 4]:

- ograniczenia przestrzeni obserwacji drogi i jej otoczenia wraz z błędami odczytu rzeczywistych parametrów geometrycznych drogi;
- występowania zjawiska olśnienia;
- trudności poprawnego szacowania odległości do pojazdu nadjeżdżającego z przeciwka;
- skrócenia odległości widoczności oraz ograniczenia bocznego pola widzenia;
- zmniejszenia sprawności motorycznej oraz koncentracji kierowców w nocy, w tym wydłużenia ich czasu reakcji o około 0,4 sek. w stosunku do okresu dnia;
- wydłużonego czasu adaptacji wzroku kierowcy do ciemności i zmian natężenia oświetlenia.

¹ © Transport Miejski i Regionalny, 2012.

Niektóre z podanych powyżej przyczyn wzrostu zagrożenia bezpieczeństwa ruchu mogłyby być częściowo kompensowane przez stopniowe zmniejszanie prędkości wraz ze spadkiem natężenia oświetlenia. Jednak statystyczne dane o wypadkach sugerują, że brak jest takiej reakcji kierujących pojazdami lub jest ona niewystarczająca. Pełna ocena opisywanego zjawiska wymaga jednak dodatkowych badań prędkości.

Podane powyżej uwarunkowania przesądziły o podjęciu w ramach projektu badawczego N509 254437 „Identyfikacja determinant bezpieczeństwa ruchu w warunkach nocnych ograniczeń widoczności” badań prędkości w różnych warunkach oświetlenia drogi. W ich efekcie oszacowano charakter i skalę dobowej zmienności prędkości, co obok walorów poznawczych, ma także duże znaczenie praktyczne. Wyniki badań tej zmienności pozwalają na lepszą interpretację wyników analiz danych o wypadkach, mogą być wykorzystane w formułowaniu polityki zarządzania prędkością, a także przy prognozowaniu wpływu ruchu na środowisko w różnych porach doby.

Warunki oświetlenia drogi jako determinanta wyboru prędkości

Wśród wielu determinant wyboru prędkości przez kierujących pojazdami (cechy pojazdów, cechy kierowców, cechy drogi i jej otoczenia, warunki atmosferyczne, przepisy prawnoadministracyjne) wskazuje się także czas podróży, tj. porę doby, dzień tygodnia, porę roku. Wpływ pory doby oraz pory roku na prędkość należy utożsamiać głównie ze zmiennością w tych okresach warunków oświetlenia drogi.

Rolę oświetlenia drogi w podejmowaniu decyzji przez kierujących pojazdami, w tym przy wyborze prędkości, dobrze wyjaśnia model Rumar'a procesów percepcji i procesów poznawczych przy kierowaniu pojazdem [4]. W modelu tym zakłada się istnienie trzech ważnych filtrów odbieranych informacji i ich przetwarzania: fizycznego, percepcyjnego i poznawczego (psychologicznego). W pojęciu „filtr” mieści się wiele czynników, które w sposób łączny oddziałują na zdolność do postrzegania różnych bodźców, a także ich przetwarzania i w efekcie na zachowanie kierujących pojazdami, w zależności od warunków oświetlenia determinujących możliwości obserwacji przestrzeni drogi. Granice pomiędzy „filtrami percepcji” i „filtrami poznawczymi” są dość umowne.

Obok stopniowanej struktury przetwarzania informacji, od odbioru bodźca poprzez proces decyzyjny do podjęcia działania, zwraca się uwagę przede wszystkim na istnienie i ważną rolę czynników oddziałujących na proces selekcji i wyboru (akcentowania) informacji w percepcji przestrzeni drogi. Za pomocą założonych w modelu Rumar'a „filtrów” można łatwo opisać ograniczenia postrzegania i przetwarzania informacji w różnych warunkach oświetlenia i widoczności. Są to:

- „filtry fizyczne” – powodujące utrudnienia w odbiorze obrazu drogi z powodu: występowania okresowej zmiany intensywności oświetlenia (faza ściemniania), ciemności, opadów deszczu lub śniegu a także występowania mgły, zabrudzeń szyby pojazdu i reflektorów, odbicia światła od jezdni;

- „filtry percepcji” – powodujące utrudnienia samego procesu percepcji z powodu: efektów fizjologicznego olśnienia, ograniczeń sprawności wzroku, wieku obserwatora, odległości z jakiej obserwuje się obiekt, zmęczenia, spożycia alkoholu lub innych środków odurzających;
- „filtry procesu poznawania” – wiążące się z takimi funkcjami człowieka, jak napięcie uwagi, motywy działania, doświadczenia i oczekiwania. Występować może w tym przypadku niedokładne przetwarzanie informacji, np. niewłaściwe oszacowanie prędkości lub odległości, ograniczenia zdolności przetwarzania przy nadmiarze informacji, braki informacji zwrotnej z otoczenia.

Analiza podanych powyżej grup „filtrów” prowadzi do jednoznacznego wniosku, że pogorszenie warunków oświetlenia drogi będzie wpływać także na wybór prędkości przez kierujących pojazdami, ale charakter tego wpływu zależy bardzo silnie od wielu specyficznych sytuacji w ruchu i na drodze ujętych w podanych grupach „filtrów”.

Dobowa zmienność prędkości pojazdów była już przedmiotem wcześniejszych badań [1, 2, 5]. Wykazano w nich, że zarówno prędkość pojazdów w ruchu swobodnym, jak i prędkość potoków pojazdów zmieniają się istotnie w ciągu doby. Charakter tych zmian zależy m.in. od lokalizacji drogi. W przypadku dróg poza terenami zurbanizowanymi, z ogólnym limitem prędkości 90 km/h, obserwowano zmniejszanie się średniej prędkości oraz kwantyli 85% i 95% w godzinach nocnych. Może być ono tłumaczone zarówno reakcją kierujących na pogorszone warunki widoczności, jak i dobowym rytmem sprawności psychofizycznej kierujących oraz ich zmęczeniem, a także specyfiką ruchu w nocy, tj. dużym udziałem w ruchu kierowców zawodowych.

W innych wieloletnich badaniach z udziałem autora [2, 5, 6] wskazano na specyficzną dobową zmianę prędkości na terenach zurbanizowanych, w tym na odcinkach drogowych przejść przez małe i średnie miejscowości. W tych przypadkach, inaczej niż na drogach zamiejskich, obserwowano istotny wzrost prędkości w godzinach nocnych na odcinkach dróg bez oświetlenia sztucznego. Wzrost ten nie może być tłumaczony jedynie zróżnicowaniem limitu prędkości (50 km/h w godz. 5:00–23:00 i 60 km/h w pozostałych godzinach), gdyż był obserwowany także w czasie badań prowadzonych w okresie obowiązywania jednolitego limitu prędkości 60 km/h. Takie wyniki badań są nieoczekiwane w kontekście opisanego powyżej modelu Rumar'a procesów percepcji i procesów poznawczych, gdyż w nocy ujawnia się działanie większości z „filtrów” ujętych w tym modelu. Jest to jeden z powodów potrzeby kontynuacji przedmiotowych badań. W opisywanych badaniach sformułowano hipotezę, że jednym z czynników wpływających na wzrost prędkości pojazdów w nocy jest niewielkie zagrożenie policyjną kontrolą prędkości oraz dominacja ruchu tranzytowego, przy bardzo małym prawdopodobieństwie występowania zakłóceń płynności ruchu, powodowanych obsługą otoczenia drogi w nocy.

Innymi badaniami, nawiązującymi do roli oświetlenia jako czynnika wyboru prędkości, są badania opisane w [7].

Analizowano w nich zmiany prędkości wynikające ze zmian natężenia naturalnego oświetlenia oraz wprowadzania sztucznego oświetlenia drogi. Do tych badań wybrano odcinki badawcze, na których wykonywano pomiary prędkości w okresie 3 tygodni przed wprowadzeniem sztucznego oświetlenia oraz 4 tygodni po jego zainstalowaniu. Ponieważ oświetlenie może inaczej wpływać na prędkość na odcinkach prostych niż na łukach poziomych, to w badaniach analizowano odrębnie podane przypadki. W interpretacji wyników badań zastosowano metodę porównań prędkości w godzinach nocnych do prędkości w godzinach dziennych „przed i po” instalacji oświetlenia drogowego, taką aby równocześnie szacować kompensację ryzyka przez zmiany zachowań kierujących pojazdami (oświetlenie może powodować spadek subiektywnie odczuwanego ryzyka i jego kompensację np. przez wzrost prędkości). Jeśli taka kompensacja zachodzi, to stosunek prędkości w ciemności do prędkości w dzień jest większy w okresie „po” niż „przed”, zgodnie z ogólną formułą:

$$\frac{V_C \text{ "po" }}{V_D \text{ "po" }} > \frac{V_C \text{ "przed" }}{V_D \text{ "przed" }} \quad (1)$$

gdzie:

- $V_C \text{ "po"}$ – prędkość w godzinach odpowiadających ciemności „po” wprowadzeniu oświetlenia,
- $V_D \text{ "po"}$ – prędkość w ciągu dnia okresu „po” wprowadzeniu oświetlenia,
- $V_C \text{ "przed"}$ – prędkość w godzinach odpowiadających ciemności „przed” wprowadzeniem oświetlenia,
- $V_D \text{ "przed"}$ – prędkość w ciągu dnia okresu „przed” wprowadzeniem oświetlenia.

W celu dokładniejszej oceny kompensacji ryzyka wykorzystano także klasyczną metodę badań „przed i po z obiektem kontrolnym”. W takim przypadku, jeśli kompensacja ryzyka zachodzi, to stosunek prędkości w nocy na odcinkach eksperymentalnych do prędkości w nocy na odcinkach kontrolnych jest większy w okresie „po” niż „przed”, zgodnie z ogólną formułą:

$$\frac{V_C \text{ "po" }_{ob}}{V_C \text{ "po" }_{ok}} > \frac{V_C \text{ "przed" }_{ob}}{V_C \text{ "przed" }_{ok}} \quad (2)$$

gdzie dodatkowo do symboli prędkości o znaczeniu, jak we wzorze (1), przypisano indeksy identyfikujące miejsce pomiaru, tj. *ob* – na odcinku pomiarowym i *ok* – na odcinku kontrolnym.

W przypadku odcinków prostych uzyskano wartość proporcji opisanej wzorem (1) wynoszącą $1,03 > 1,0$, a w przypadku łuków poziomych $1,01 > 0,98$, co potwierdza wzrost prędkości wraz z wprowadzeniem oświetlenia o 3%.

Porównania zmian prędkości na odcinkach badawczych ze zmianami prędkości na odcinkach kontrolnych, przy wykorzystaniu równania (2) doprowadziły do uzyskania proporcji $1,03 > 0,98$ na odcinkach prostych i $0,94 > 0,93$ na łukach poziomych. Oznacza to, że po uwzględnieniu

wplywu innych czynników na zmiany zachowań kierujących pojazdami, można przyjąć, iż samo oświetlenie spowodowało wzrost prędkości o 5% na odcinkach prostych oraz o 1% na łukach poziomych. Opisane rezultaty badań można uznać za zgodne z ogólną regułą zachowań wynikającą z modelu Rumar’a.

Opisane powyżej, wybrane wyniki badań odnoszące się do roli warunków oświetlenia jako determinanty wyboru prędkości przez kierujących pojazdami, nie przesądzają jednoznacznie o charakterze tego wpływu i celowe są dalsze, bardziej szczegółowe badania. Wybrane wyniki takich badań, zrealizowanych przy udziale autora, opisano poniżej.

Badania dobowej zmienności prędkości pojazdów w ruchu swobodnym

W celu określenia powiązania prędkości pojazdów ze zmiennymi warunkami oświetlenia w ciągu doby podjęto własne badania i analizy na odcinkach dróg i ulic o zróżnicowanych charakterystykach funkcjonalnych oraz geometrycznych. Celem badań była bardziej dokładna ocena dobowej zmienności prędkości wraz z identyfikacją dodatkowych czynników determinujących tę zmienność. Do analiz wykorzystano dane z cyklicznych pomiarów prędkości realizowanych w latach 2002–2008 na prostych odcinkach dróg krajowych oraz na ulicach w miastach [6], a także dane z własnych, uzupełniających pomiarów w latach 2010–2012 na odcinkach przejść drogowych przez małe miejscowości. Łącznie dysponowano danymi z 11 616 godzin pomiarów. Zebrane dane z pomiarów prędkości reprezentują różne pory roku. Wyróżniono 3 grupy poligonów badawczych, na które składały się:

- Odcinki dróg poza terenami zabudowy z limitem prędkości 90 km/h, różniące się typem przekroju poprzecznego. Były to przekroje jednojezdniowe 2-pasowe z poboczeniami bitumicznymi (oznaczone jako Z1) oraz z poboczami gruntowymi (oznaczone jako Z2). W analizowanych próbach uwzględniono dane z 61 pomiarów dobowych prędkości na odcinkach Z1 i z 46 pomiarów na odcinkach Z2. Podział na dwie grupy według typów przekroju poprzecznego wynika z wcześniej potwierdzonego wpływu typu przekroju poprzecznego na zachowania kierujących pojazdami, a szczególnie wpływu na ocenę ryzyka jazdy, gdyż bitumiczne pobocza zapewniają lepszą strefę bezpieczeństwa wokół jezdni niż pobocza gruntowe;
- Odcinki na przejściach drogowych przez miejscowości z limitem prędkości 50 km/h w godz. 5.00–23.00 i 60 km/h w godz. 23.00–5.00. W analizowanym zbiorze były dane z 38 odcinków o przekrojach jednojezdniowych 2-pasowych z poboczami bitumicznymi, gruntowymi oraz z chodnikami. Na odcinkach analizowanych miejscowości nie występowało sztuczne oświetlenie lub klasyfikowane było ono jako nie odpowiadające wymaganym standardom (pojedyncze punkty świetlne w znacznych odległościach pomiędzy nimi);
- Odcinki ulic z limitem prędkości 50 km/h w godz. 5.00–23.00 i 60 km/h w godz. 23.00–5.00. Wyróżniono grupę odcinków o przekroju poprzecznym dwujezdniowym

wym, z jednokierunkowymi jezdniami 2-pasowymi oraz grupę odcinków ulic jednojezdniowych o szerokości jezdni 7,0 m i o szerokości jezdni 8,0 ÷ 9,0 m. W analizowanych próbach uwzględniono dane z 237 pomiarów dobowych prędkości na odcinkach ulic o przekroju dwujezdniowym i ze 102 pomiarów na odcinkach ulic o przekrojach jednojezdniowych.

W opisie dobowej zmienności prędkości pojazdów wykorzystano wartości prędkości średniej obliczanej w kolejnych interwałach pomiarowych o długości jednej godziny. Profil dobowych zmian prędkości wyznaczano przy wykorzystaniu współczynnika Z_V , zdefiniowanego następująco:

$$Z_V = \frac{V_i - V_{sr}}{V_{sr}} \quad (3)$$

gdzie:

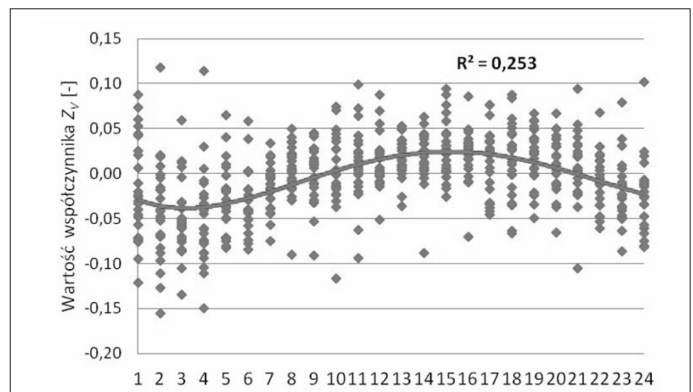
- V_i – prędkość średnia obliczona w i -tej godzinie [km/h],
- V_{sr} – prędkość średnia obliczona w dłuższym interwale odniesienia np. doba lub część doby [km/h].

Tak zdefiniowany współczynnik umożliwia wzajemne porównania dobowej zmienności prędkości przy różnych średnich prędkościach odniesienia. Zróznicowanie prędkości średnich w obrębie każdej z jednorodnych grup poligonów, o takich samych charakterystykach geometrycznych, jest zwykle efektem dodatkowych wpływów różnych czynników lokalnych.

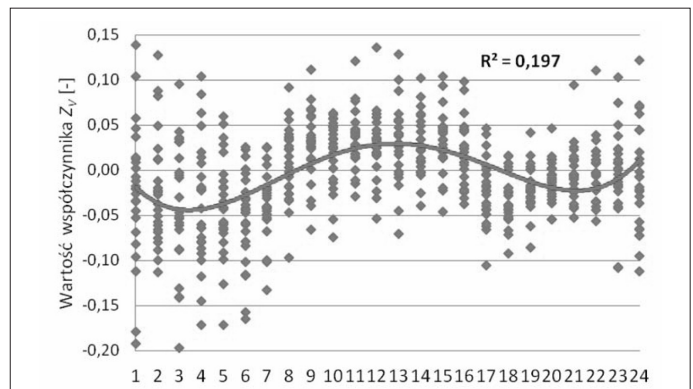
Na rysunkach 1 i 2 pokazano obrazy dobowej zmienności wartości współczynnika Z_V na drogach zamiejskich o przekroju Z1 z uwzględnieniem podziału zarejestrowanych danych na okres zimowy i pozostałą część roku. Wyróżnienie okresu zimy wiąże się ze znacznie większym udziałem w tym okresie godzin w ciągu doby o złych warunkach oświetlenia w stosunku do pozostałej części roku. Na rysunkach 1 i 2 zaznaczono także linie trendu, pomimo stosunkowo niskich wartości współczynnika determinacji R^2 , gdyż linie te umożliwiają porównanie rejestrowanej zmienności prędkości średniej z uwzględnieniem różnych zbiorów danych.

Oceniając pokazane na rysunkach 1 i 2 obrazy dobowej zmienności prędkości średniej na drogach zamiejskich o przekroju Z1 oraz pominięte w opisie wyniki tego typu analiz w odniesieniu do przekroju Z2, można sformułować następujące wnioski:

- Linie trendu zmian wartości współczynnika Z_V wskazują na zjawisko zmniejszania prędkości pojazdów w godzinach nocnych. Na kształt linii trendu, opisujących te zmiany, ma wpływ typ przekroju poprzecznego drogi oraz pora roku. W miesiącach zimowych spadek prędkości występuje we wcześniejszych godzinach niż w pozostałych miesiącach i rozpoczyna się wraz ze zmrokiem. Zmniejszenie prędkości średniej w godzinach zmroku i nocy w miesiącach zimowych jest bardziej znaczące niż w pozostałych miesiącach roku;
- Zakres zmienności prędkości średniej w interwałach godzinowych względem prędkości średniej w dobie, opisywany przez wartości współczynnika Z_V , przy pominięciu



Rys. 1. Dobowa zmienność współczynnika Z_V na odcinkach dróg zamiejskich o przekroju z pobocznymi bitumicznymi w miesiącach marzec – listopad



Rys. 2. Dobowa zmienność współczynnika Z_V na odcinkach dróg zamiejskich o przekroju z pobocznymi bitumicznymi w miesiącach grudzień – luty

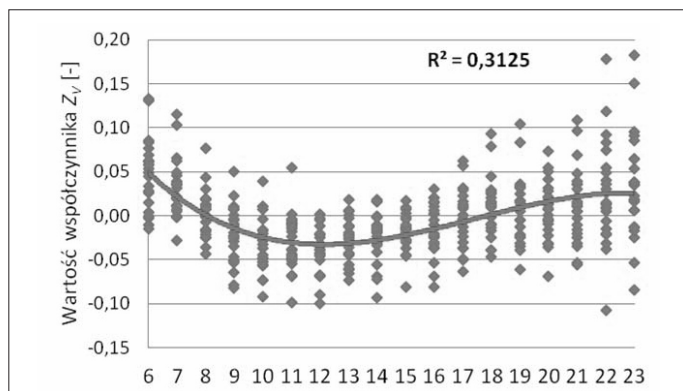
w zbiorze danych 15% wartości najmniejszych i 15% wartości największych, zawierał się w przedziałach:

- przekroje Z1 w miesiącach zimowych od $-0,054$ do $+0,045$, a w miesiącach pozostałych od $-0,052$ do $+0,036$,
- przekroje Z2 w miesiącach zimowych od $-0,064$ do $+0,046$, a w miesiącach pozostałych od $-0,049$ do $+0,036$.

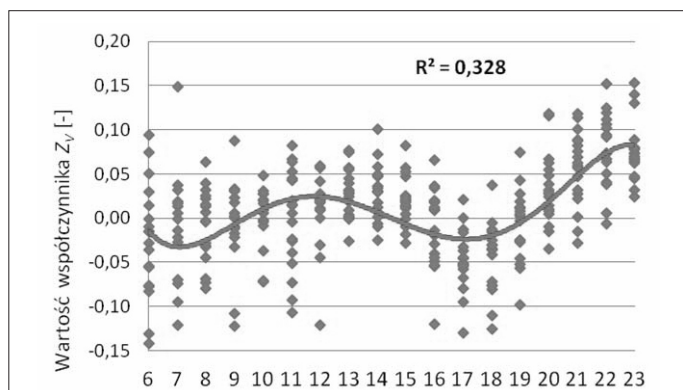
Są to wartości potwierdzające statystycznie istotne zmiany prędkości średniej w ciągu doby;

- Zaobserwowane dobowe zmiany prędkości średniej obliczanej w interwałach godzinowych na drogach zamiejskich są zgodne z oczekiwaniami, gdyż potwierdzają tezę, że reakcją na pogorszenie warunków percepcji obrazu drogi powinno być zmniejszenie prędkości.

Kolejnym krokiem analiz była ocena zmienności prędkości średniej w przekroju doby na odcinkach drogowych przejść przez miejscowości. Ponieważ w tych przypadkach w ciągu doby zmienia się limit prędkości, to uznano, że bardziej obiektywnym będzie śledzenie zmian prędkości tylko w godzinach jednolitego limitu 50 km/h, w których także zmieniają się warunki naturalnego oświetlenia, szczególnie w miesiącach jesiennych oraz zimowych. Poniżej na rysunkach 2 i 3 pokazano obrazy dobowej zmienności wartości współczynnika Z_V na analizowanych przejściach drogowych przez miejscowości, przy połączeniu danych ze zbiorów odcinków o różnych typach przekroju poprzecznego. Uczyniono



Rys. 3. Dobowa zmienność współczynnika Z_V w odcinkach przejść drogowych przez miejscowości w miesiącach wiosenno-letnich (kwiecień – wrzesień)



Rys. 4. Dobowa zmienność współczynnika Z_V w odcinkach przejść drogowych przez miejscowości w miesiącach zimowych (grudzień – luty)

tak, gdyż wstępne analizy nie potwierdziły istotnego wpływu typu przekroju na obraz dobowej zmienności prędkości na odcinkach przejść drogowych przez małe miejscowości. Szczególną uwagę poświęcono okresowi zimy, gdyż wówczas zwiększa się udział godzin w ciągu doby o złych warunkach naturalnego oświetlenia w stosunku do pozostałej części roku. Równocześnie warunki złego oświetlenia w godzinach popołudniowych i porannych „nakładają” się na okresy wzmożonej aktywności użytkownika otoczenia dróg (ruch pieszy, zjazdy do posesji i wjazdy na drogę).

Oceniając pokazane na rysunkach 3 i 4 obrazy dobowej zmienności prędkości średniej w ruchu swobodnym na odcinkach drogowych przejść przez miejscowości w godzinach obowiązywania limitu 50 km/h, można sformułować następujące wnioski:

- Linia trendu zmian wartości współczynnika Z_V w miesiącach wiosenno-letnich wskazuje na zjawisko zwiększania prędkości pojazdów w godzinach nocnych. Podobną zależność stwierdzono także w przypadku analizy danych o prędkości średniej z miesięcy jesiennych. Jest to zjawisko odmienne od obserwowanego na drogach zamiejskich, na których prędkość średnia w godzinach nocnych była mniejsza niż w ciągu dnia. Na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości następuje zwiększanie prędkości w godzinach wieczornych i późnowieczornych. Najczęściej w godzinach późnowieczornych maleje aktywność użytkownika otoczenia drogi, co jest bardzo ważną dodatkową determinantą zachowań kierujących pojazdami;

- Linia trendu zmian wartości współczynnika Z_V w miesiącach zimowych ma inny kształt niż w przypadku pozostałych miesięcy. W miesiącach zimowych rejestrowano znaczący spadek prędkości wraz z pogarszaniem się warunków widoczności w godz. 16 ÷ 19, a następnie wzrost prędkości średniej mimo już występującej ciemności. Takie zjawisko może być tłumaczone tym, że w godzinach późnowieczornych w zimie maleje aktywność użytkownika otoczenia drogi i kierujący pojazdami mogą to subiektywnie oceniać jako zmniejszenie poziomu zagrożenia, co skutkuje wzrostem prędkości mimo złych warunków widoczności. Dodatkowo na zachowania kierujących pojazdami może wpływać przekonanie o malejącym ryzyku kontroli prędkości w godzinach nocnych. Natomiast w godz. 16 ÷ 19 nakładają się na siebie dwa efekty, tj. pogorszenie warunków widoczności z równoczesną znaczną aktywnością użytkownika otoczenia drogi, co może skłaniać kierujących pojazdami do obniżania prędkości;
- Zakres zmienności prędkości średniej w interwałach godzinowych względem prędkości średniej w dobie, opisywany przez wartości współczynnika Z_V , przy pominięciu w zbiorze danych 15% wartości najmniejszych i 15% wartości największych, zawierał się w przedziałach:
 - w miesiącach zimowych od $-0,047$ do $+0,65$,
 - w miesiącach wiosenno-letnich od $-0,043$ do $+0,036$,

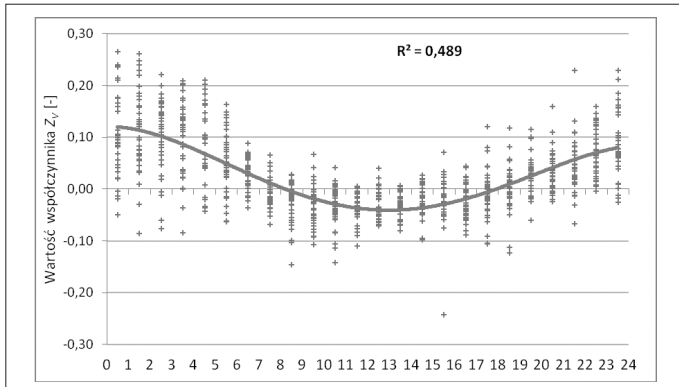
Są to wartości potwierdzające statystycznie istotne zmiany prędkości średniej w ciągu doby.

Zaobserwowane dobowe zmiany prędkości średniej obliczanej w interwałach godzinowych na przejściach drogowych przez miejscowości są zgodne z wynikami wcześniejszych badań autorów. Niepokojący jest brak reakcji kierujących pojazdami na pogorszenie warunków percepcji obrazu drogi, tj. brak decyzji o zmniejszeniu prędkości. Tym samym można przypuszczać, że dominującą determinantą wyboru prędkości w ruchu swobodnym na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości jest ocena subiektywnego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu z równoczesną dominacją czynników innych niż warunki oświetlenia.

W celach porównawczych podjęto także analizę dobowej zmienności prędkości na ulicach z oświetleniem. W tym przypadku zmienność warunków oświetlenia w ciągu doby nie jest tak znacząca jak na drogach zamiejskich oraz nieoświetlonych przejściach drogowych przez miejscowości. Jakość sztucznego oświetlenia ulic jest zróżnicowana i zależy od ich standardu technicznego, ale w każdym przypadku zapewnia dobre warunki percepcji przestrzeni ulicy i jej otoczenia także w nocy. Można w uproszczeniu założyć, że zmiany natężenia naturalnego oświetlenia są w znacznej części kompensowane przez oświetlenie sztuczne i tym samym mniejszy powinien być wpływ pory doby na wybór prędkości przez kierujących pojazdami, a w szczególności wpływ na zmniejszanie prędkości. Z tego powodu połączono w jeden zbiór dane z różnych pór roku.

Wyniki analiz potwierdzają powyżej sformułowane przypuszczenie i dodatkowo wskazują na bardzo istotną

rolę innych czynników przy wyborze prędkości niż warunki oświetlenia. Podobnie, jak w przypadku przejść drogowych przez miejscowości, zaobserwowano w badanej grupie ulic tendencje do wzrostu prędkości w godzinach nocnych, przy czym skala tych zmian zależy bardzo silnie od typu przekroju poprzecznego ulicy. Na rysunku 5 pokazano obraz dobowej zmienności wartości współczynnika Z_V na ulicach o przekroju jednojezdniowym z jezdniami o szerokości 8,0 – 9,0 m.



Rys. 5. Dobowa zmienność współczynnika Z_V na odcinkach ulic o przekroju z jedną jezdnią o szerokości 8,0–9,0 m

Na podstawie wyników analiz w odniesieniu do trzech grup ulic o różnych typach przekroju poprzecznego stwierdzono, że linie trendu zmian wartości współczynnika Z_V wskazują na zjawisko zwiększania prędkości pojazdów w godzinach wieczorowych i „nocnych”, szczególnie na ulicach o przekroju jednojezdniowym. Na ulicach dwujezdniowych, na których z reguły występują większe prędkości średnie i jakość sztucznego oświetlenia jest bardzo dobra, zmiany prędkości średniej w przekroju doby są mniejsze niż na ulicach jednojezdniowych. Wskazują na to wyniki analiz zakresu zmienności prędkości średniej w interwałach godzinowych względem prędkości średniej w dobie, opisywanej przez wartości współczynnika Z_V . Przy pominięciu w zbiorze danych 15% wartości najmniejszych i 15% wartości największych współczynnika Z_V jego wartości zawierały się w przedziałach:

- w przekrojach dwujezdniowych od -0,028 do +0,058,
- w przekrojach jednojezdniowych o szerokości jezdni 7,0 m od -0,034 do +0,070,
- w przekrojach jednojezdniowych o szerokości jezdni 8,0 ÷ 9,0 m od -0,040 do +0,103.

Tendencji do wzrostu prędkości w ruchu swobodnym w godzinach wieczorowych i nocnych nie da się wyjaśnić tylko zwiększeniem limitu prędkości o 10 km/h w godzinach „nocnych”, gdyż wzrost ten pojawia się już w czasie obowiązywania limitu prędkości 50 km/h. Można sformułować wstępną tezę, że istotnym czynnikiem determinującym opisywane zachowania kierujących pojazdami jest malejące ryzyko kontroli prędkości w nocy, a także malejąca aktywność ruchu związanego z otoczeniem ulic.

Podsumowanie

W podsumowaniu przedstawionych analiz dobowej zmienności prędkości średniej obliczanej w interwałach godzinowych można stwierdzić, że:

- Obraz dobowej zmienności prędkości średniej zależy od lokalizacji drogi;
- Na drogach zamiejskich obserwowano oczekiwane zjawisko zmniejszania prędkości w ruchu swobodnym w warunkach pogorszenia oświetlenia drogi;
- Na przejściach drogowych przez miejscowości obserwowano wzrost prędkości średniej w godzinach wieczorowych i nocnych. Stwierdzono także, że profil dobowej zmienności prędkości średniej zależy od pory roku i może on być powiązany dodatkowo ze zmieniającą się w ciągu doby intensywnością użytkowania otoczenia dróg;
- Na ulicach ze sztucznym oświetleniem nie rejestrowano tendencji do spadku prędkości średniej w godzinach, w których oświetlenie naturalne jest zastępowane przez oświetlenie sztuczne. W tych godzinach następował natomiast wzrost prędkości średniej, którego skala powiązana jest z typem przekroju poprzecznego ulicy.

Uzyskany opis dobowych zmian prędkości średniej ma w znacznej części charakter opisu jakościowego wraz ze sformułowaniem hipotez badawczych. Natomiast ilościowy opis wpływu różnych charakterystyk dróg i ulic, wraz z warunkami oświetlenia, na prędkość pojazdów wykonano, budując modele regresyjne odpowiadające wybranym okresom doby. W modelach tych znalazło potwierdzenie przypuszczenie, że wpływ otoczenia drogi na prędkość zależy od pory doby. Wynika to między innymi z ograniczeń możliwości obserwacji otoczenia drogi i identyfikowania potencjalnych zagrożeń związanych z tym otoczeniem.

Literatura

1. Szczuraszek T., *Prędkość pojazdów w warunkach drogowego ruchu swobodnego*, PAN KILiW, Studia z zakresu inżynierii, Warszawa 2008.
2. Gaca S., *Badania prędkości pojazdów i jej wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego*, Zeszyty Naukowe PK, Inżynieria Lądowa nr 75, Politechnika Krakowska, Kraków 2002.
3. Fors C., Lundkvist S.-O., *Night-time traffic in urban areas*, VTI rapport 650A, 2009.
4. Schlag B., Petermann I., Weller G., Schulze Ch., *Mehr Licht – mehr Sicht – mehr Sicherheit?* VS Verlag für Sozialwissenschaften GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009.
5. Gaca S., Kieć M., *Badania reakcji kierujących pojazdami na zmianę ograniczenia prędkości na terenach zabudowy*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2005, nr 12.
6. Gaca S., Jamroz K., Ząbczyk K. i inni, *Analiza wybranych aspektów zachowania użytkowników dróg*, SIGNALCO – FRIL, Kraków–Gdańsk 2003–2008 – okresowe raporty z badań udostępniane na stronie www.krbrd.org.pl
7. Jorgensen F., Pederson P. A., *Drivers response to the installation of road lighting. An economic interpretation*, Accident Analysis & Prevention, 2002, Vol. 34.