

WYBRANE ASPEKTY EKSPLOATACJI SAMOCHODU NA SIECI DRÓG O ZNACZNEJ LICZBIE ROND

W artykule przedstawiono wyniki badań prędkości ruchu i zużycia paliwa przez samochód osobowy na ok. 6 km trasie zawierającej 7 skrzyżowań o ruchu okrężnym, zwanych potocznie rondami. Na podstawie analizy prędkości i czasu zatrzymania stwierdzono, że ruch na analizowanej trasie odbywa się płynnie, a średnie zużycie paliwa przez badany pojazd wynosi niespełna 9 dm³/100 km. Największe zużycie paliwa (średnio trzykrotnie wyższe od średniej z całej trasy) zaobserwowano przy wjeździe na rondo. Jest ono spowodowane koniecznością zmniejszenia prędkości bądź zatrzymania się przed wjazdem na rondo, a następnie dynamicznego ruszania i przyspieszania. Wysokie zużycie paliwa (średnio dwu do trzykrotnie większe od ww. średniej) powstaje także podczas przyspieszania bezpośrednio po opuszczeniu ronda. Natomiast przejazd przez rondo odbywający się zazwyczaj przy prędkości 20-30 km/h powoduje nieco mniejszy (maksymalnie dwukrotny) wzrost zużycia paliwa.

WSTĘP

Eksploatacja samochodów, zwłaszcza w indywidualnym transporcie pasażerskim, stanowi znaczące obciążenie dla środowiska naturalnego. Przykładowo przewóz 1 osoby na odległość 1 km samochodem osobowym z silnikiem zasilanym benzyną powoduje emisję 106-330 g dwutlenku węgla [1, s. 148-150], kilkuset mg węglowodorów i tlenków azotu oraz kilkudziesięciu mg cząstek stałych [2, s. 108-109]. Wartości te zależą od wielu czynników. Jednym z najistotniejszych jest zużycie paliwa przez samochód, które determinuje również ekonomiczne aspekty eksploatacji samochodu. Zużycie paliwa jest ściśle związane z prędkością jazdy [3 s. 6632], przełożeniem w układzie napędowym [4 s. 6640] czy otwarciem przepustnicy [3 s. 6634-6635]. Parametry te determinowane są warunkami ruchu. Wysokie zużycie paliwa obserwuje się przy jeździe po zakorkowanej drodze [3 s. 6631]. Najczęściej jazda taka występuje w ruchu miejskim, szczególnie w pobliżu skrzyżowań. Rozwiązaniem, które poprawia płynność ruchu w takich miejscach, zwłaszcza przy umiarkowanym natężeniu ruchu, jest stosowanie skrzyżowań o ruchu okrężnym, tzw. rond [5 s. 3169]. Ze wzrostem natężenia ruchu przepustowość ronda maleje [6 s. 162]. Rozwiązaniem zwiększającym tę przepustowość jest stosowanie rond dwupasmowych zamiast jednopasmowych [7 s. 106]. Dalszą jej poprawę, skutkującą zmniejszeniem korków, uzyskuje się dzięki zastosowaniu tzw. „turbo rond” o specjalnym kształcie wyspy [8 s. 399]. Zastosowanie ronda zamiast skrzyżowania z sygnalizacją świetlną zmniejsza ryzyko wypadków [9 s. 453] i ogranicza emisję szkodliwych składników spalin [9 s. 459]. W niniejszym artykule analizowano wpływ obecności skrzyżowań o ruchu okrężnym na prędkość ruchu i zużycie paliwa na trasie położonej na obrzeżach miasta.

1. BADANIA

W ramach pracy przeprowadzono badania wpływu obecności skrzyżowań o ruchu okrężnym (rond) na wybrane parametry eksploatacji samochodu. Analizowano prędkość ruchu oraz zużycie paliwa. Badania przeprowadzono w Rybniku na ok. 6 kilometrowej trasie przebiegającej następującymi ulicami: Wielopolska, Obwiednia Północna, Rudzka, Henryka Mikołaja Góreckiego i Zebrzydowic-

ka. Znajduje się na niej 7 rond, na których pierwszeństwo mają pojazdy poruszające się po skrzyżowaniu przed wjeżdżającymi na nie. Większość omawianej trasy przebiega przez teren zabudowany, na którym obowiązuje ograniczenie prędkości do 50 km/h w godzinach od 5:00 do 23:00, a w pozostałych godzinach do 60 km/h. Prócz tego trasa ta obejmuje dwa odcinki, na których dopuszczalna prędkość wynosi 70 km/h.

Badania przeprowadzono przy użyciu samochodu osobowego Renault Thalia, napędzanego silnikiem z zapłonem iskrowym o mocy 55 kW. Pojemność skokowa silnika wynosiła 1390 cm³. Analizowane parametry eksploatacji pojazdu rejestrowano wykorzystując bezprzewodowy interfejs ELM-327 Bluetooth, podłączony do gniazda diagnostycznego OBDII. Dane te wraz z innymi udostępnianymi przez jednostkę sterującą samochodem były transmitowane radiowo do smartfonu Samsung Galaxy 4 z uruchomionym programem Torque Pro. Pomiarzy były prowadzone w sposób ciągły, a ich wyniki - zapisywane w pamięci z częstotliwością 2 Hz. Oprócz nich rejestrowano także parametry pochodzące z systemu nawigacji satelitarnej GPS, jak np. współrzędne geograficzne (długość i szerokość geograficzna), pozwalające na ustalenie położenia samochodu. Do analizy wybrano wyniki pomiarów zarejestrowanych od kwietnia do września 2016 r. podczas 40 przejazdów opisaną trasą (po 20 przejazdów w każdym kierunku). Obejmowały one ponad 60 000 rekordów danych.

2. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Analizie poddano wybrane parametry eksploatacyjne zarejestrowane na całej trasie przejazdu, jak i na wybranych skrzyżowaniach o ruchu okrężnym. W badaniach osobno rozpatrzono przypadki skrętu w prawo, w lewo i przejazdu „na wprost” przez skrzyżowanie. Z uwagi na niewielką liczbę danych badawczych nie uwzględniono przypadku zawracania na rondzie.

2.1. Prędkość ruchu i zużycie paliwa na badanej trasie

Na rysunku 1 przedstawiono histogram prędkości ruchu samochodu na całej badanej trasie. Wynika z niego, że najczęściej (52,2% zarejestrowanych punktów pomiarowych) pojazd porusza się z prędkością od 40 do 50 km/h. Kolejne udziały są już znacznie niższe bo równe ok. 12% i przypadają na mniejsze prędkości z

przedziałów 20-30 km/h oraz 30-40 km/h. Natomiast prędkość 50-60 km/h zarejestrowano podczas niespełna 10% czasu badań. Udziały prędkości z pozostałych zakresów są niewielkie (1,9-6,2%).

Z rysunku 1 wynika, że czas postoju obejmuje zaledwie 2,5% czasu badań. Wyniki badań świadczą o wysokiej płynności ruchu na analizowanej trasie. Dla porównania udział czasu postoju na przykładowej trasie zawierającej skrzyżowania z sygnalizacją świetlną zamiast z ruchem okrężnym jest ok. 10 krotnie wyższy [10 s. 6657].

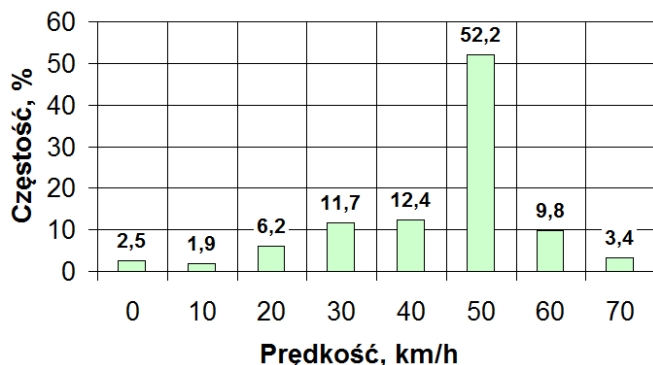
W ramach analizy wyników badań obliczono średnie zużycie paliwa na badanej trasie. Ponieważ system rejestrował dystans (w km) pokonywany przy zużyciu 1 dm³ paliwa, przeliczono je na powszechnie przyjęte w Polsce zużycie wyrażone w dm³ przypadające na 100 km przebiegu samochodu, ze wzoru:

$$G_P = \frac{100}{l_P} \left[\frac{\text{dm}^3}{100 \text{ km}} \right] \quad (1)$$

gdzie:

G_P - zużycie paliwa na 100 km przebiegu;

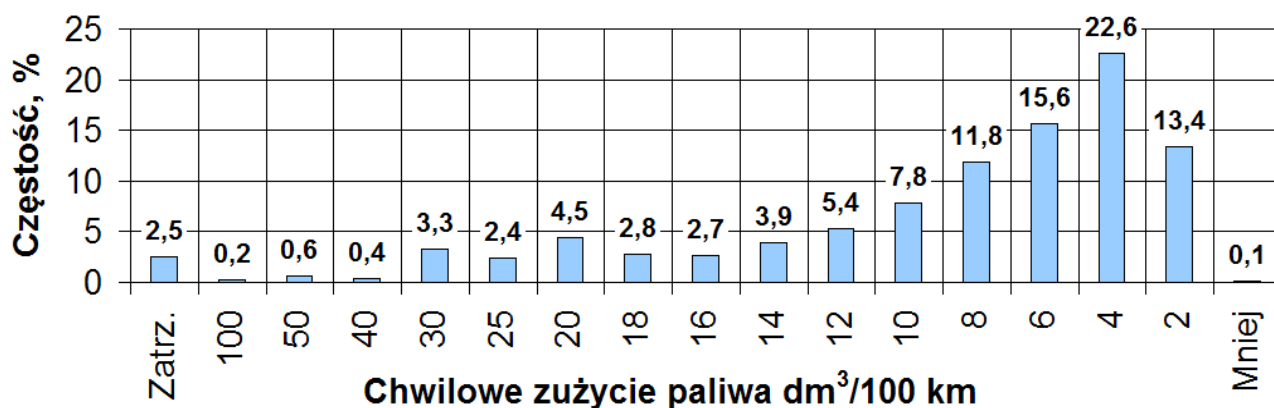
l_P - przebieg pojazdu przy zużyciu 1 dm³ paliwa, km/dm³.



Rys. 1. Histogram prędkości ruchu na badanej trasie

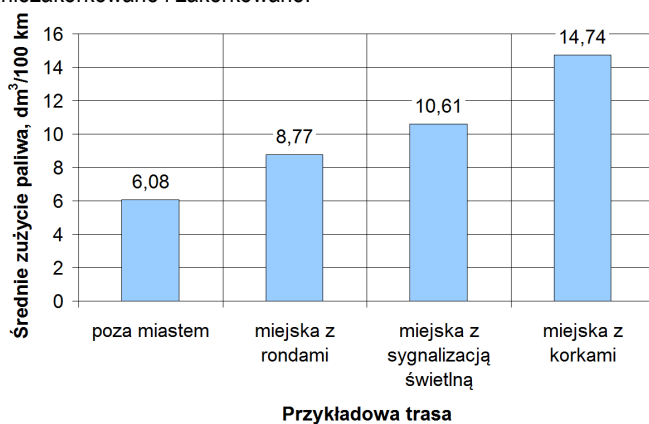
Na rysunku 2 przedstawiono histogram chwilowego zużycia paliwa na badanej trasie. Wynika z niego, że przeważnie zużycie to waha się w przedziale od 2 do 6 dm³/100 km (łącznie 51,6%). Zużycie paliwa wynoszące 6-8 dm³/100 km zaobserwowano w blisko 12% czasu badań. Im wyższa wartość zużycia tym jego udział generalnie jest coraz mniejszy. Sporadycznie obserwuje się zużycie chwilowe wynoszące nawet 100 dm³/100 km (0,2% udziału). Podczas zatrzymania pojazdu chwilowe zużycie paliwa rośnie do nieskończoności (wartość 0 w mianowniku ułamka). Zaznaczono je na rysunku 2 skrótem „Zatrz.”.

Na rysunku 3 porównano obliczone, średnie zużycie paliwa z wynikami badań przedstawionymi w pracy [3 s. 6631]. Obejmują one zarówno trasy poza miastem, jak i w mieście, w którym ruch na



Rys. 2. Histogram zużycia paliwa na badanej trasie, „Zatrz.” oznacza zatrzymanie pojazdu

skrzyżowaniach kierowany jest za pomocą sygnalizacji świetlnej. W tym ostatnim przypadku rozpatrywano osobno trasy niezakorkowane i zakorkowane.



Rys. 3. Porównanie średniego zużycia paliwa na badanej trasie ze średnim zużyciem paliwa na trasach badanych w pracy [3]

Jak wynika z rysunku 3 średnie zużycie paliwa na drodze ze skrzyżowaniami o ruchu okrężnym jest zauważalnie niższe niż na niezakorkowanej ulicy ze skrzyżowaniami wyposażonymi w sygnalizację świetlną, choć znacząco wyższe od wartości dla dróg poza miastem. Należy zaznaczyć, że na zużycie paliwa na danej trasie ma wpływ wiele czynników, a w szczególności przepustowość sieci drogowej i natężenie ruchu. Dlatego takie porównania, jak na rysunku 3 należy traktować jako orientacyjne. Konieczne jest również przeprowadzenie dalszych, bardziej szczegółowych analiz.

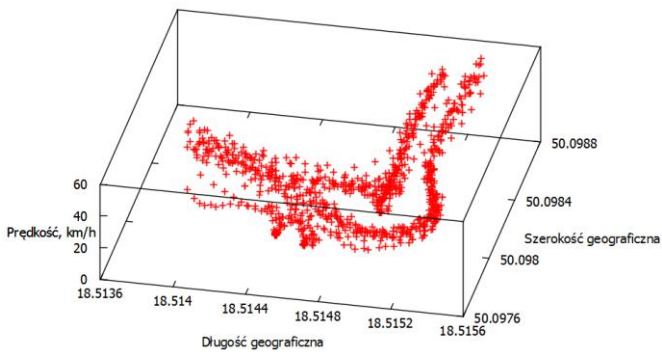
2.2. Prędkość i zużycie paliwa na rondach i w ich pobliżu

W pracy analizowano jak zmienia się prędkość ruchu i zużycie paliwa podczas jazdy po rondzie, oraz na kilkudziesięciometrowych fragmentach trasy położonych bezpośrednio przed oraz za rondem. Rozpatrywano przypadki skrętu w prawo i w lewo na skrzyżowaniu oraz przejazdu „na wprost”.

Zmiana kierunku ruchu

W celu określenia wpływu zmiany kierunku ruchu na rondzie (tj. wykonywania skrętu w ulicę prostopadłą) na prędkość ruchu i zużycie paliwa wyselekcjonowano dane dotyczące ronda Zebrzydowickiego (położonego na skrzyżowaniu ulic: Henryka Mikołaja Góreckiego i Zebrzydowickiej w Rybniku). Wybór ten był podyktowany z jednej strony dużą liczbą danych wynikającą z częstego wykonywania skrętu w lewo bądź w prawo na tym skrzyżowaniu, a z drugiej jego klasycznym kształtem, gdyż jest to rondo z czterema ulicami wlotowymi. Pozostałe ronda, na których często wykonywano takie skręty miały tylko trzy ulice wlotowe. Zarejestrowane wartości prę-

kości samochodu w funkcji współrzędnych geograficznych przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Prędkość samochodu na Rondzie Zebrzydowskim w funkcji współrzędnych geograficznych

Zgodnie z oczekiwaniami z rysunku 4 wynika, że prędkość ruchu samochodu na odcinkach dojazdowych do ronda zmniejsza się, niejednokrotnie do zatrzymania pojazdu. Jako, że przed rondem znajduje się przejście dla pieszych, może pojawić się konieczność dwukrotnego zatrzymania się – przed przejściem oraz przed wjazdem na skrzyżowanie. Przejazd przez rondo odbywa się przy niewielkiej prędkości, a po jego opuszczeniu samochód ponownie rozpędza się.

Jak widać na rysunku 4 analizowanie parametrów eksploatacyjnych samochodu na rondzie w funkcji współrzędnych geograficznych nie jest dogodnie, dlatego do dalszych prac wykorzystano współrzędną pomocniczą L , zwaną względną odległością pokonaną przez samochód. Obliczono ją z następującego wzoru:

$$L = \sum_{i=1}^{k-1} \sqrt{[71330(x_{i+1} - x_i)]^2 + [111200(y_{i+1} - y_i)]^2} \quad (2)$$

gdzie:

L - względna odległość, m;

x_i, x_{i+1} - długość geograficzna odpowiednio dla i -tego oraz $i+1$ pomiaru podczas danego przejazdu przez rondo, $^{\circ}$;

y_i, y_{i+1} - szerokość geograficzna odpowiednio dla i -tego oraz $i+1$ pomiaru podczas danego przejazdu przez rondo, $^{\circ}$;

k - liczba pomiarów zarejestrowanych podczas ww. przejazdu,

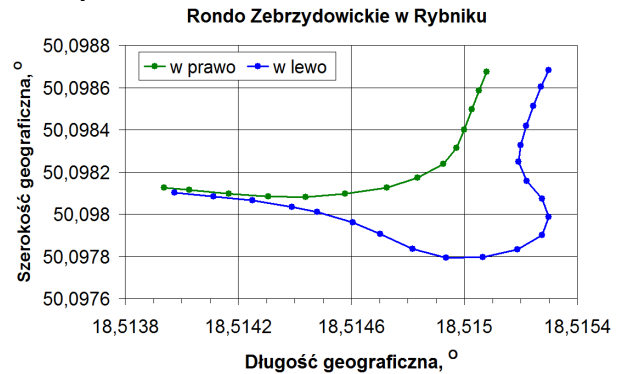
71330 m° - przelicznik różnicy długości geograficznej na odległość wyrażoną w m,

111200 m° - przelicznik różnicy szerokości geograficznej na odległość wyrażoną w m,

Przeliczniki zastosowane we wzorze (2) służące do zamiany różnicy współrzędnych geograficznych na odległość wyrażoną w metrach przyjęto wykorzystując kalkulator współrzędnych geograficznych dostępny w Internecie pod adresem [11]. W celu jednoznacznego powiązania uzyskanych odległości względnych ze współrzędnymi geograficznymi przyjęto wspólny punkt początkowy dla wszystkich przejazdów przez rondo w danym kierunku. Dla obliczonej odległości względnej wyznaczono przedziały co 10 m i obliczono wartości średnie prędkości i zużycia paliwa w tych przedziałach. Określono również wartości średnie tej odległości w poszczególnych przedziałach oraz średnie współrzędne geograficzne odpowiadające tym wartościom (rys. 5). Obliczenia przeprowadzono oddzielnie dla danych dotyczących skrętu w prawo i w lewo.

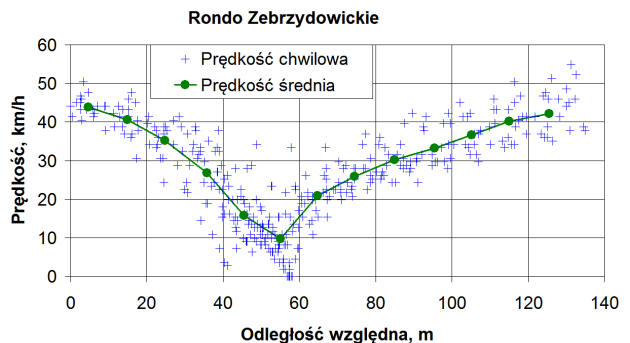
Wyniki pomiarów prędkości podczas skręcania w prawo na Rondzie Zebrzydowskim (z uwzględnieniem ok. 60 metrowych odcinków drogi przed i za rondem) wraz z obliczonymi średnimi z poszczególnych przedziałów odległości względnej pokazano na

rysunku 6. Jak wynika z rysunku 6 podczas badań nie było konieczności zatrzymania się samochodu przed przejściem dla pieszych, zlokalizowanym w odległości ok. 40 m od początkowego punktu badanego odcinka, jedynie raz samochód musiał tam znacznie zwolnić. Zawsze pojazd zwalniał, a niekiedy zatrzymywał się przed wjazdem na rondo (nieco przed 60 m przyjętej odległości względnej). Obliczone średnie prędkości w poszczególnych przedziałach dobrze obrazują zmiany prędkości zachodzące podczas pokonywania ronda w badanym kierunku. Wykorzystano je zatem w dalszej analizie wyników badań.

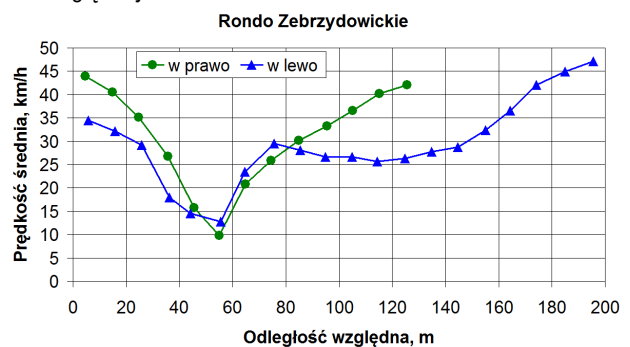


Rys. 5. Wartości średniej względnej odległości ruchu samochodu (z poszczególnych przedziałów) na Rondzie Zebrzydowskim w funkcji współrzędnych geograficznych

Na rysunku 7 zestawiono średnią prędkość samochodu na analizowanym rondzie przy skręcaniu w prawo i w lewo. Porównanie otrzymanych wykresów pozwala na stwierdzenie, że prędkość na odcinku dojazdowym do Ronda ul. Zebrzydowskiej jest zauważalnie mniejsza niż w przypadku ul. Henryka Mikołaja Góreckiego. Pierwsza z wyżej wymienionych ulic jest jednojezdniowa, podczas gdy druga – dwujezdniowa, a więc ich przepustowości są różne. Wywiera to wpływ na prędkości ruchu na rozpatrywanych drogach.



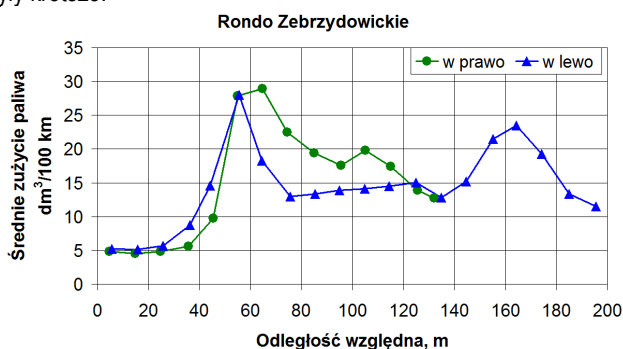
Rys. 6. Wartości chwilowe i średnie prędkości ruchu samochodu przy skręcaniu w prawo na Rondzie Zebrzydowskim w funkcji odległości względnej



Rys. 7. Wartości średnie prędkości ruchu samochodu przy skręcaniu w prawo i w lewo na Rondzie Zebrzydowskim w funkcji odległości względnej

Przy wykonywaniu skrętu w lewo, gdy samochód wjedzie na rondo jego średnia prędkość wzrasta do blisko 30 km/h i podczas przejazdu po rondzie waha się pomiędzy 25 a 30 km/h. Zbliżone wartości prędkości pojazdów na rondzie zaobserwowano w pracy [12 s. 744]. Po zjechaniu z ronda na drogę dwujezdniową o dwóch pasach ruchu na każdej jezdni, samochód rozpędza się do prędkości dopuszczalnej nieco szybciej niż ma to miejsce na drodze jednojezdniowej.

Dane dotyczące zużycia paliwa analizowano taką samą metodą jak wyniki badań prędkości ruchu. Na rysunku 8 przedstawiono średnie zużycie paliwa przy skręcaniu w prawo i w lewo na Rondzie Zebrzydowskim. Z tego rysunku wynika, że średnie zużycie paliwa przez samochód w odległości 40-60 m przed rondem wynosi ok. 5 dm³/100 km. W miarę zbliżania się do skrzyżowania obserwuje się jego wzrost. Wynika on faktu, że samochód niekiedy musiał poruszać się w korku przy podjeżdżaniu do ronda. Największe, średnie zużycie paliwa występuje przy ruszaniu lub przyśpieszaniu podczas wjeżdżania na skrzyżowanie. Można zauważyć, że na drodze dwujezdniowej wspomniany wzrost zużycia paliwa następuje później niż na drodze jednojezdniowej, gdyż na tej pierwszej korki były krótsze.



Rys. 8. Wartości średnie zużycia paliwa przy skręcaniu w prawo i w lewo na Rondzie Zebrzydowskim w funkcji odległości względnej

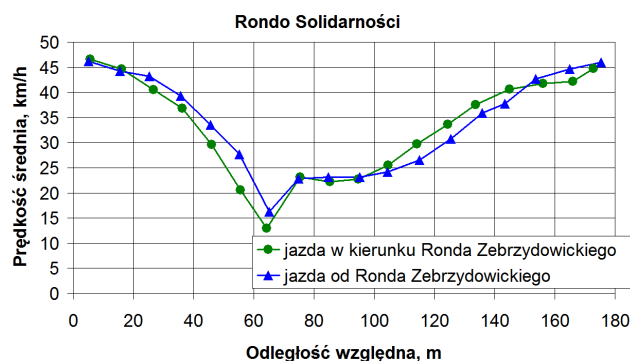
Ruszanie i wjazd na skrzyżowanie z drogi dwujezdniowej odbywa się bardziej dynamicznie niż z jednojezdniowej, co powoduje nieznacznie większe, średnie zużycie paliwa w pierwszym przypadku. Podczas jazdy po rondzie zużycie to maleje, by po jego opuszczeniu przejściowo wzrosnąć i następnie znów obniżyć się. Przyczyną spadku zużycia paliwa przy pokonywaniu ronda jest ostrożna, niezbyt dynamiczna jazda po nim. Przejściowy jego wzrost po opuszczeniu skrzyżowania wynika z przyśpieszania pojazdu w celu osiągnięcia prędkości dopuszczalnej na danym odcinku drogi. Gwałtowniejsze przyśpieszanie na drodze dwujezdniowej sprawia, że obserwuje się na niej wyraźniejszy wzrost tego zużycia. Po zwiększeniu się prędkości samochodu powyżej 35 km/h kierujący samochodem używa wyższych przełożeń w układzie napędowym (zwanych wyższymi biegami), co wywołuje zmniejszenie zużycia paliwa [3 s. 6633].

Przejazd na wprost

Wybrane parametry eksploatacyjne samochodu podczas przejazdu przez skrzyżowanie o ruchu okrężnym z wyjazdem w drogę położoną na wprost drogi, przez którą pojazd na nie wjechał (zwanym w skrócie przejazdem „na wprost”), analizowano na rondzie położonym na skrzyżowaniu ulic Henryka Mikołaja Góreckiego i Budowlanych, noszącego nazwę „Rondo Solidarności”. Przyczyną takiego wyboru była, podobnie jak w poprzednim przypadku znaczna liczba danych pomiarowych, wynikająca z częstego przejeżdżania „na wprost” przez nie. Ponadto jest to sąsiednie rondo dla analizowanego poprzednio, co jest jego dodatkową zaletą, związaną ze

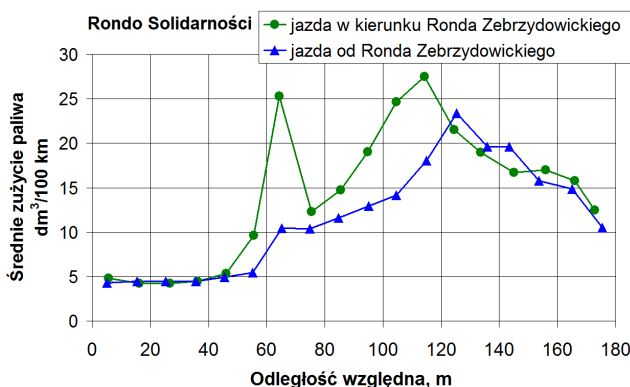
zblizonym natężeniem ruchu na drodze łączącej je. Rondo to ma również cztery drogi wlotowe, przy czym jedna z nich jest dojazdem do stacji paliw. Bezpośrednio za rondem znajduje się wyjazd z tej stacji.

Analizę wyników badań przeprowadzono analogicznie jak w poprzednim przypadku. Uśrednione wartości prędkości w poszczególnych przedziałach odległości względnej przedstawiono na rysunku 9. Wynika z niego, w odległości ok. 60 m przed i za rondem prędkości jazdy w obu kierunkach są zbliżone, natomiast na odcinkach drogi znajdujących się bliżej ronda występują pewne różnice. Szczególnie wyraźne są one na drogach dojazdowych, bezpośrednio przed wjazdem na skrzyżowanie. Obniżenie wartości średniej prędkości podczas jazdy w kierunku Ronda Zebrzydowskiego w stosunku do drugiego kierunku ruchu wynika z nierównomiernego obciążenia ruchem wlotów usytuowanych poprzecznie względem kierunku jazdy, tj. ul. Budowlanych i dojazdu do stacji paliw. Natężenie ruchu na ul. Budowlanych jest znacznie większe niż na dojeździe do stacji paliw, dlatego pojazdy poruszające się w kierunku Ronda Zebrzydowskiego natrafiają na większy strumień pojazdów (mających pierwszeństwo) z kierunku poprzecznego, niż te poruszające się w przeciwną stronę. Są więc zmuszone do większego ograniczenia prędkości i częściej zatrzymują się przed wjazdem na rondo. Strumień ten jest jednak ograniczany przez pojazdy przejeżdżające na wprost przez rondo ulicą Henryka Mikołaja Góreckiego nadjeżdżające od strony Ronda Zebrzydowskiego. Większe natężenie ruchu na rondzie za wlotem ulicy Budowlanych wymusza ostrożniejszą jazdę kierowców, co powoduje zmniejszenie prędkości podczas pokonywania tego fragmentu ronda.



Rys. 9. Wartości średnie prędkości ruchu samochodu podczas przejeżdżania „na wprost” przez Rondo Solidarności w funkcji odległości względnej

Z tych samych względów średnie zużycie paliwa przy jeździe po rozpatrywanym skrzyżowaniu w kierunku Ronda Zebrzydowskiego jest wyższe niż w drugim kierunku, zwłaszcza przy wjeżdżaniu na rondo i wyjeżdżaniu z niego (rys. 10).



Rys. 10. Wartości średnie zużycia podczas przejeżdżania „na wprost” przez Rondo Solidarności w funkcji odległości względnej

Częstsze zatrzymywanie się i ruszanie pojazdów przed wjazdem na rondo jest przyczyną wysokiego zużycia paliwa dla odległości względnej od 60 do 70 m. Natomiast brak znacznego, poprzecznego strumienia pojazdów na wjeździe do stacji paliw powoduje bardziej dynamiczną, dalszą jazdę kierowców po rondzie prowadzącą do większej prędkości ale powodującą wyższe zużycie paliwa niż przy jeździe w przeciwnym kierunku.

PODSUMOWANIE

Wyniki badań przedstawione w artykule pozwoliły na stwierdzenie, że na analizowanej trasie ruch samochodów odbywa się płynnie. Świadczy o tym niski udział czasu postoju (2,5%) oraz wysoki udział prędkości z przedziału od 40 do 50 km/h (ponad 50%). Pozwala na to usytuowanie trasy na obrzeżach miasta Rybnik i znaczna liczba skrzyżowań o ruchu okrężnym (aż 7 na ok. 6 km trasy). Pokonywanie takich skrzyżowań wiąże się ze zmniejszeniem prędkości, niekiedy do zatrzymania przed wjazdem na rondo. Powoduje to konieczność przyśpieszania na niskich biegach, a niekiedy ruszania. Zużycie paliwa przez samochód jest wówczas wysokie. Średnie jego wartości dla badanego samochodu wahają się wówczas od 25 do 30 dm³/100 km. Wyjątkiem są takie wjazdy, przy których nie występuje poprzeczny strumień samochodów mających pierwszeństwo przed wjeżdżającymi na rondo albo jest on bardzo mały. Wówczas zużycie paliwa osiąga średnio ok. 10 dm³/100 km (rys. 10).

Jazda badanym samochodem po rondzie z niewielką prędkością (średnio 20-30 km/h) także cechuje się dość wysokim zużyciem paliwa wynoszącym 10-20 dm³/100 km, a przyśpieszanie po wyjechaniu ze skrzyżowania dodatkowo powoduje przejściowy jego wzrost do wartości 20-28 dm³/100 km. Jest on tym większy im lepsza (i mniej obciążona ruchem) jest droga za rondem (por. rys. 8 i 10). Wszystko to sprawia, że średnie zużycie paliwa na badanej trasie jest o około połowę większe niż ma to miejsce na odcinkach poza miastem, lecz jednocześnie niższe niż na drogach położonych w centrum miasta, na których dominują skrzyżowania z sygnalizacją świetlną.

Analizowane zagadnienia są dość złożone, gdyż wpływ na nie wywiera szereg czynników, dlatego dokonywanie porównań parametrów eksploatacyjnych samochodu użytkowanego na różnych trasach (jak np. na rys. 3) ma jedynie charakter orientacyjny. Jednak ze względu na istotny wpływ na ekonomię i ekologię transportu samochodowego zagadnienia te wymagają dalszych badań.

BIBLIOGRAFIA

1. Witaszek M., Witaszek K., *Porównanie emisji dwutlenku węgla dla różnych rodzajów transportu*, "Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria Transport" 2015 z. 87.
2. Witaszek M., Witaszek K., *Emisja wybranych, toksycznych składników spalin przez różne środki transportu*, "Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria Transport" 2015 z. 88.
3. Witaszek K., Witaszek M., *Wpływ wybranych warunków eksploatacyjnych pojazdu samochodowego na zużycie paliwa*, „Logistyka” 2015, nr 4.

4. Witaszek K., Witaszek M., *Wybrane aspekty eksploatacji pojazdu w warunkach ruchu miejskiego*, „Logistyka” 2015, nr 4.
5. Lakouari N., Ez-Zahraouy H., Benyoussef A., *Traffic flow behavior at a single lane roundabout as compared to traffic circle*, „Physics Letters A” 2014, nr 378.
6. Chen X., Lee M.S., *A case study on multi-lane roundabouts under congestion: Comparing software capacity and delay estimates with field data*, „Journal of traffic and transportation engineering (english edition)” 2016, nr 3 (2).
7. Mauro R., Guerrieri M., *Comparative life-cycle assessment of conventional (double lane) and non-conventional (turbo and flower) roundabout intersections*, „Transportation Research Part D” 2016, nr 48.
8. Gallelli V., Luele T., Vaiana R., *Conversion of a semi-two lanes roundabout into a turbo-roundabout: a performance comparison*, „Procedia Computer Science” 2016, nr 83.
9. Yang X., Magalotti M.J., *A Service Life Analysis of Roundabouts Retrofits for Signalized Intersections*, „Procedia Engineering” 2016, nr 145.
10. Witaszek K., Witaszek M., Czech P., Warczek J., Stanik Z., *Wpływ wybranych warunków zewnętrznych na prędkość ruchu samochodowego*, „Logistyka” 2015, nr 4.
11. www.piastr.edu.pl/Tools/Geographic-Calculations-Calculators
12. Liu Y., Guo X., Kong D., Liang H., *Analysis of Traffic Operation Performances at Roundabouts*, „Procedia - Social and Behavioral Sciences” 2013, nr 96.

Selected aspects of car use on the road network containing considerable number of roundabouts I

This paper presents results of passenger car velocity and fuel consumption study on the 6 km long route containing seven roundabouts. The analysis of car speed and stop time indicates that vehicle movement of was smooth. Average fuel consumption of test vehicle was slightly less than 9 liters per 100 km. The highest values of fuel consumption (about three times larger than the average) were observed when entering the roundabout. The cause of that is the need to reduce speed of even stop before entering the roundabout and then moving off and dynamic acceleration. High fuel consumption (two to three times higher than the route average) occur just after leaving the roundabout when car accelerates to reach the speed permitted for the road. Driving through the roundabout with speed of 20-30 km/h causes slightly smaller (up to two times) increase of fuel consumption.

Autorzy:

dr inż. **Mirosław Witaszek** – Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych, e-mail miroslaw.witaszek@polsl.pl.

dr inż. **Kazimierz Witaszek** – Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych, e-mail kazimierz.witaszek@polsl.pl.