



mgr inż. **Aleksandra Romanowska**, dr inż. **Wojciech Kustra**, dr hab. inż. **Kazimierz Jamroz**, prof. nadzw. PG, Politechnika Gdańska

Wpływ niekorzystnych warunków atmosferycznych występujących zimą na ruch potoku pojazdów

Niekorzystne warunki atmosferyczne, poprzez ograniczenie widoczności czy zmniejszenie przyczepności pojazdu, mogą znacząco wpływać na poczucie bezpieczeństwa wśród kierowców. W przypadku intensywnych opadów deszczu, deszczu ze śniegiem czy deszczu, mokrej lub oblodzonej nawierzchni wielu z nich będzie wybierało niższą prędkość i utrzymywało większe odstępy między pojazdami. To z kolei będzie wpływało na przepustowość drogi i poziom warunków ruchu.

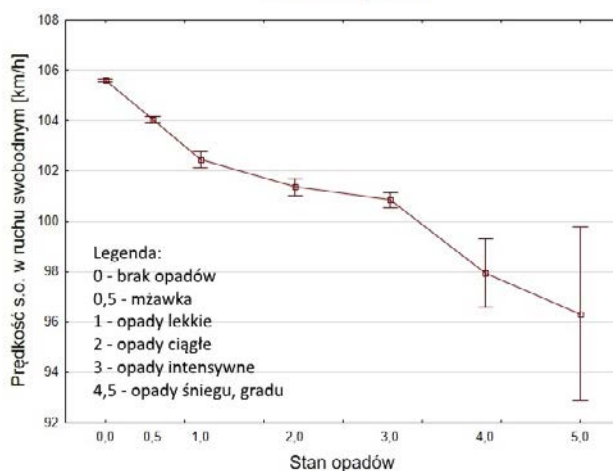
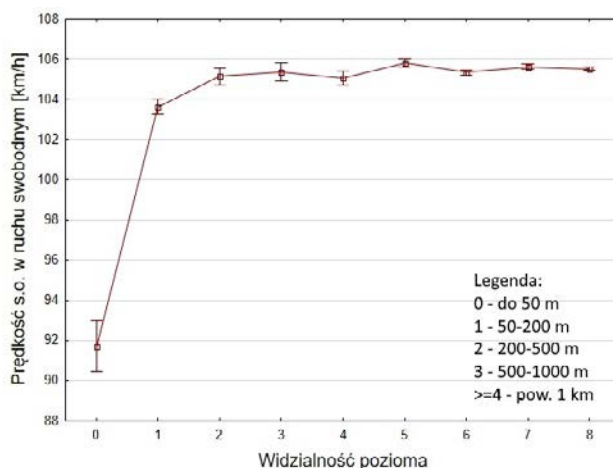
The impact of adverse weather conditions occurring in winter on traffic flow

Adverse weather conditions, by limiting visibility or reducing the vehicle's traction, can significantly affect the drivers' feeling of safety. In the case of heavy rain, sleet, wet or icy surfaces many of them will choose lower speeds and maintain longer headways between vehicles. This in turn will affect the capacity of the road and the standard of traffic conditions.

Keywords:

weather conditions, traffic flow

Summary



Rys. 1. Wpływ widzialności poziomej i opadów na średnią prędkość w warunkach ruchu swobodnego

Pora roku	Prędkość [km/h]			
	Q1	Mediana	Średnia	Q3
Wiosna	100,8	104,1	103,8	107,4
Lato	98,2	102,6	100,2	106,4
Jesień	99,5	102,9	102,3	106,2
Zima	97,0	100,7	99,8	104,0

Tab. 1. Rozkład prędkości samochodów osobowych w poszczególnych porach roku w przekroju Obwodnicy Trójmiasta.

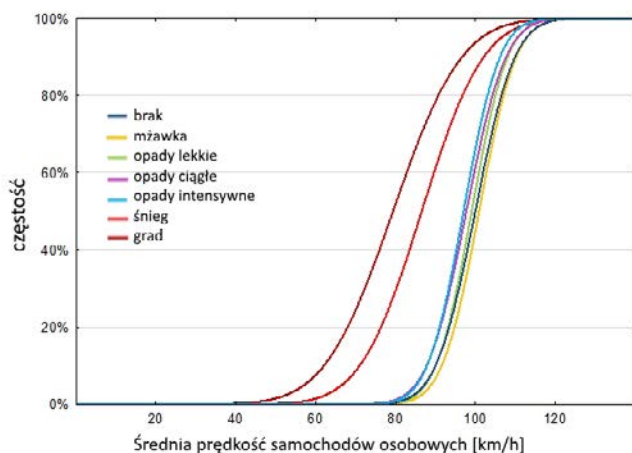
Na parametry ruchu potoku pojazdów wpływa szereg czynników, związanych m.in. z przekrojem drogi, dopuszczalną prędkością czy strukturą ruchu, ale również warunkami atmosferycznymi i oświetlenia (np. opady deszczu, śniegu, ujemne temperatury, zmniejszona przyczepność nawierzchni, krótki okres dnia, ograniczona widzialność itd.).

W licznych źródłach literatury wykazano, odnosząc się do autostrad i dróg ekspresowych, że wraz z pogorszeniem się warunków atmosferycznych spada średnia prędkość ruchu potoku pojazdów i prędkość w ruchu swobodnym oraz zmniejszeniu ulega przepustowość drogi [1-9]. Szczególnie istotnym pod tym względem okresem w roku jest zima, kiedy niekorzystne warunki atmosferyczne występują znacznie częściej i z większą intensywnością. W rezultacie zimą można zaobserwować generalny spadek średniej prędkości pojazdów i przesunięcie się rozkładu prędkości w kierunku niższych wartości, względem pozostałych pór roku (tab. 1). W przypadku intensywnej zimy, nawet przez 3 miesiące w roku warunki

atmosferyczne mogą znacznie odbiegać od optymalnych, a tym samym na drogach, przy niezmiennym popycie, w tym okresie można spodziewać się pogorszenia warunków ruchu.

Wpływ niekorzystnych warunków atmosferycznych na przykładzie Obwodnicy Trójmiasta

Wpływ niekorzystnych zimowych warunków atmosferycznych na parametry ruchu potoku pojazdów przeanalizowano na przykładzie Obwodnicy Trójmiasta (S6). Jest to droga dwujezdniowa o przekroju 2x2, miejscami 2x3, stanowiąca główną drogę i kluczowy element układu transportowego Trójmiasta, zarówno dla ruchu tranzytowego, aglomeracyjnego, jak i turystyczno-rekreacyjnego. Średnie dobowe natężenie ruchu na odcinkach Obwodnicy Trójmiasta sięga 80 tys. pojazdów na dobę, podczas gdy w miesiącach letnich obserwuje się natężenia przekraczające nawet 100 tysięcy pojazdów na dobę. Duże natężenia ruchu powodują, że dro-



Rys. 2. Dystrybuanty prędkości samochodów osobowych w okresie zimowym

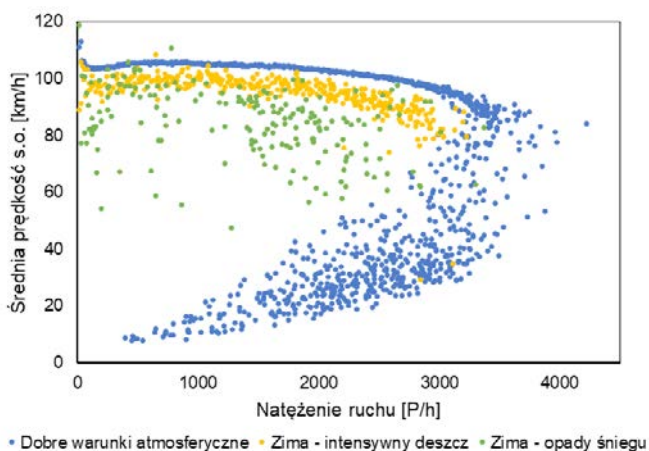
ga funkcjonuje już na granicy przepustowości, co widoczne jest w szczególności w szczytach komunikacyjnych i w okresie letnim.

Dane do analizy zostały uzyskane ze stacji ciągłego pomiaru ruchu zlokalizowanej w Gdańsku Osowej dla okresu 15 miesięcy w latach 2014-2015. Zostały one zagregowane do 5-minutowych interwałów, uzyskując informacje m.in. o natężeniu, średniej prędkości, udziale pojazdów ciężkich oraz średnich odstępach czasu między pojazdami. Do każdego interwału przypisano informację o warunkach atmosferycznych (temperatura powietrza, stan i intensywność opadów, stan nawierzchni, widoczność) na podstawie danych uzyskanych ze stacji meteorologicznych. Określono ponadto warunki oświetlenia (dzień, noc, świt, zmierzch) i meteorologiczną porę roku.

W okresie analizy występowały ponad 2 tysiące godzin zimowych. Spośród nich ponad połowa to godziny bez oświetlenia dziennego, a ponad 70% stanowiły godziny, gdzie zarejestrowano nawierzchnię mokrą lub zaśnieżoną. W okresie zimowym 2014/15 zarejestrowano 24 godziny opadów śniegu lub gradu, 120 godzin intensywnego deszczu i 17 godzin z widzialnością poziomą poniżej 50 m. Zima ta określana była jako łagodna, mało śnieżna, z temperaturą średnią oscylującą wokół 0°C, jednak z dużą ilością opadów (średnia suma opadów wynosiła ponad 150 mm). Śnieg utrzymywał się w sumie przez 15 dni. Analizując dane z pełnego roku, 40% opadów deszczu i 100% opadów śniegu przypadało właśnie na okres zimowy.

Wpływ zimowych warunków atmosferycznych

W celu oceny wpływu wybranych czynników zewnętrznych na parametry ruchu potoku pojazdów przeprowadzono analizy bazujące przede wszystkim na porównaniu warunków normalnych (definiowanych jako brak opadów, sucha nawierzchnia, dobra widoczność, pora dzienna) i odmiennych, występujących zimą (opady deszczu, śniegu itp.). Zaobserwowano, że średnia prędkość pojazdów spada wraz z pogorszeniem widoczności, zwiększeniem intensywności opadów i pogorszeniem stanu nawierzchni. Widoczność poniżej 50 m powoduje 12-proc. redukcję prędkości, podczas gdy opady śniegu, w zależności od natężenia ruchu, redukują średnią prędkość o 10-15%. Podobnie, w warunkach śliskiej nawierzchni



Rys. 3. Empiryczne zależności między prędkością średnią a natężeniem i gęstością w niekorzystnych warunkach atmosferycznych zimą, w odniesieniu do warunków bazowych

przy braku opadów średnia prędkość spadnie o 5% względem nawierzchni suchej, a w przypadku wystąpienia dodatkowo opadów śniegu redukcja sięgnie 11-15%.

Czynnikiem, który dodatkowo wpływa na parametry ruchu potoku pojazdów, są warunki oświetlenia (pora dnia). Analizowany fragment Obwodnicy Trójmiasta jest oświetlony, jednak mimo to zaobserwowano niższe prędkości (o 4-7%) w okresie świtu i zmierzchu względem okresu, w którym występuje oświetlenie dzienne. Różnica ta pogłębia się w przypadku opadów śniegu, gdy średnia prędkość spada o 6-14% w okresie świtu i zmierzchu względem oświetlenia dziennego.

Wpływ niekorzystnych warunków atmosferycznych jest widoczny dla całego zakresu prędkości, nie tylko dla jej wartości średniej. Obserwując rozkłady prędkości w zależności od stanu opadów można zaobserwować widoczne przesunięcie w lewo rozkładów prędkości w warunkach występowania intensywnych opadów deszczu, opadów śniegu, deszczu ze śniegiem i gradu (rys. 2).

Podobnie zaobserwowano, że średnia prędkość w przypadku niekorzystnych warunków atmosferycznych będzie niższa dla całego zakresu obserwowanych natężeń ruchu. Rys. 3 przedstawia empiryczną zależność występującą pomiędzy średnią prędkością a natężeniem ruchu. Odniesiono się do dobrych warunków atmosferycznych i dobrych warunków oświetlenia w pełnym okresie analizy. Dla takich warunków udało się uzyskać pełen zakres gęstości i odwzorować zarówno warunki ruchu swobodnego, jak i wymuszonego. W przypadku niekorzystnych warunków atmosferycznych w zimie, które porównywano do wykresu bazowego, nie uzyskano wystarczająco dobrej reprezentacji warunków ruchu wymuszonego. Mimo to można zaobserwować, że zarówno prędkość i obserwowane maksymalne natężenie ruchu różnią się w przypadku dobrych i niekorzystnych warunków atmosferycznych. Maksymalnym natężeniem zaobserwowanym w warunkach opadów deszczu i śniegu w okresie zimowym jest 3300 P/h, podczas gdy w warunkach bazowych przepustowość wynosi 3800 P/h. Średnia prędkość różni się w całym zakresie natężeń i jest wyraźnie niższa zarówno w przypadku intensywnych opadów deszczu, jak i opadów śniegu, a także charakteryzuje się znacznie wyższym rozproszeniem wyników.

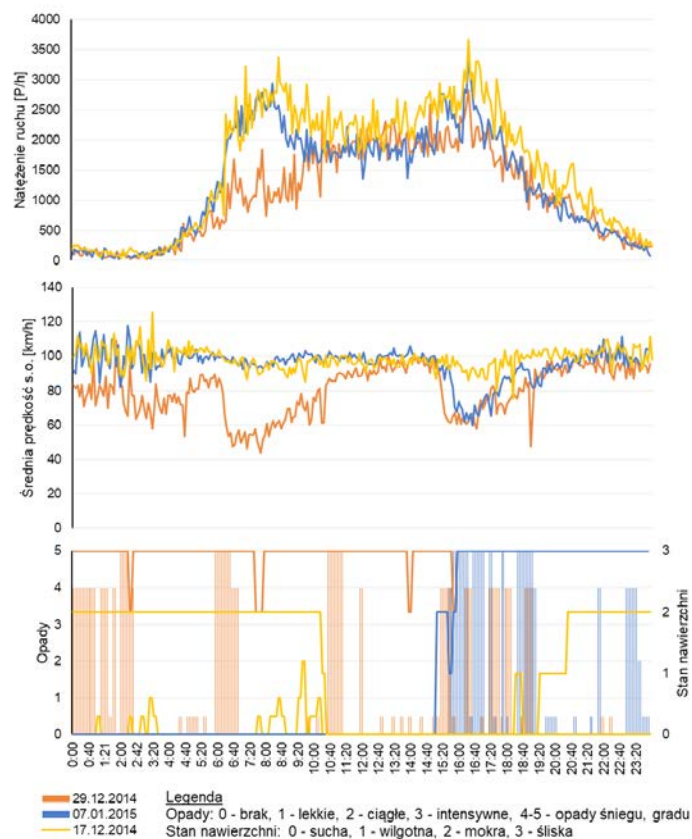
Niższe średnie prędkości występujące przy niezmiennym natężeniu ruchu przekładają się na wyższą gęstość ruchu, a tym samym niższy poziom swobody ruchu. Dobrą ilustracją do tego stwierdzenia jest porównanie danych dla pojedynczych zimowych dni, w których wystąpiło pogorszenie warunków ruchu związane z wystąpieniem niekorzystnych warunków atmosferycznych (rys. 4).

Do analizy wybrano jeden pogodny dzień (17.12.2014) oraz dwa dni, w których występowały okresowo intensywne opady śniegu oraz odnotowano śliską nawierzchnię (29.12.2014, 07.01.2015). 17.12 występowały dodatnie temperatury, odnotowano niewielkie opady deszczu, nawierzchnia była mokra. Zaobserwować można było utrzymywanie się średniej prędkości (samochodów osobowych) na podobnym poziomie przez całą dobę. W kolejnych analizowanych dniach (29.12, 7.01) odnotowano temperatury ujemne oraz okresowo intensywne opady śniegu i śliską nawierzchnię. Na rys. 4 można zauważyć, że w tych dniach, wraz z pojawieniem się intensywnych opadów śniegu, występuje nagły spadek średniej prędkości pojazdów o 20-40 km/h względem 17.12, mimo porównywalnego natężenia ruchu. Po ustąpieniu opadów śniegu średnia prędkość z powrotem wzrasta. Zaobserwowany spadek prędkości pojazdów występujących przy porównywalnym poziomie natężenia ruchu powoduje, że w warunkach intensywnych opadów śniegu gęstość wzrasta 1,2-1,7-krotnie względem warunków normalnych. To z kolei przekłada się na pogorszenie warunków ruchu, ponieważ przy takim wzroście gęstości poziom swobody ruchu spadnie o 1-2 poziomy.

Wnioski

Przegląd literatury oraz wyniki analiz przedstawione w artykule jednoznacznie wskazują na wpływ warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów i warunki ruchu na drodze. Wpływ ten może być istotny szczególnie zimą, kiedy oświetlenie dzienne występuje krócej, występują okresowo opady śniegu, niskie temperatury, mokra lub śliska nawierzchnia, a okresy pogorszenia warunków ruchu mogą występować częściej. Przeprowadzone analizy pozwoliły stwierdzić, że w niekorzystnych zimowych warunkach atmosferycznych, niezależnie od natężenia ruchu, średnia prędkość pojazdów będzie niższa, a warunki ruchu będą pogarszać się szybciej, tj. przy takich samych natężeniach względem warunków normalnych będzie występował gorszy poziom swobody ruchu.

Poznanie wpływu warunków atmosferycznych i oświetlenia na warunki ruchu ma znaczenie w kontekście zarówno planowania, jak i zarządzania siecią drogową. Na przykład planując drogę przy zakładanym poziomie swobody ruchu, można przewidzieć, przez ile godzin w roku, ze względu na wystąpienie niekorzystnych warunków atmosferycznych, można spodziewać się pogorszenia warunków ruchu. W tym kontekście istotne dla zapewnienia pożądanej jakości ruchu może być włączenie wpływu warunków atmosferycznych w procedurę oceny warunków ruchu dla odcinków dróg ekspresowych i autostrad. Konieczne są jednak dalsze badania nad zagadnieniem. Prace nad taką procedurą są realizowane w ramach projektu RID-2B, mającego na celu opracowanie polskiej metody oceny warunków ruchu dla dróg zamiejskich, w tym dróg ekspresowych i autostrad.



Rys. 4. Porównanie wybranych dni w okresie zimowym

Projekt realizowany jest w latach 2016-2019 w ramach Wspólnej Inicjatywy Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad oraz Narodowego Centrum Badań i Rozwoju „Rozwój Innowacji Drogowych”.

Piśmiennictwo

1. Rakha H., Arafah M., Park S.: *Modeling Inclement Weather Impacts on Traffic Stream Behavior*. „Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board.”, 2071/2008, s. 8-18.
2. Chien S.I., Daniel J.R., Bladikas A.K.: *Stability and Accuracy of HCM Level of Service In Darkness and Adverse Weather*. Trenton 2008.
3. Brilon W., Ponzlet M.: *Variability of speed-flow relationships on German autobahns*. „Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board.”, 1555/1996, s. 91-98.
4. Oh J.S., Shim Y.U., Cho Y.H.: *Effect of Weather Conditions to Traffic Flow on Freeway*. „SCE J. Civ. Eng.”, 6/2002, s. 413-420.
5. Lam W.H.K., Asce M., Tam M.L., Cao X., Li X.: *Modeling the Effects of Rainfall Intensity on Traffic Speed, Flow, and Density Relationships for Urban Roads*. „J. Transp. Eng.”, 4/2013 s. 758-770.
6. Agarwal M., Maze T.H., Souleyrette R.R.: *Impacts of Weather on Urban Freeway Traffic Flow Characteristics and Facility Capacity*. 2005.
7. Camacho F.J., Garcia A., Belda E.: *Analysis of impact of adverse weather on freeway free-flow speed in Spain*. „Transp. Res. Rec.”, 2010, s. 150-159.
8. Weng J., Liu L., Rong J.: *Impacts of Snowy Weather Conditions on Expressway Traffic Flow Characteristics*. „Discret. Dyn. Nat. Soc.”, 2013, s. 1-6.
9. Kwon T.J., Fu L., Jiang C.: *Effect of Winter Weather and Road Surface Conditions on Macroscopic Traffic Parameters*. „Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board.”, 2013, s. 54-62.