mgr Beata Spinek
Menadżerska Akademia Nauk Stosowanych w Warszawie
ORCID: 0000-0003-2141-8361

mgr Malwina Olbrych
ORCID: 0009-0004-2613-2842

dr Waldemar Perdion
Uczelnia Techniczno-Handlowa w Warszawie
ORCID: 0000-0001-6956-8508

dr Sławomir Żurawski
Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie
ORCID: 0000-0001-9527-3391
https://doi.org/10.29316/9788368103199_15

WPŁYW INFRASTRUKTURY DROGOWEJ NA BEZPIECZEŃSTWO W RUCHU DROGOWYM

THE IMPACT OF ROAD INFRASTRUCTURE ON ROAD SAFETY

Streszczenie

Celem badawczym niniejszego rozdziału jest analiza wpływu infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu drogowego oraz identyfikacja skutecznych rozwiązań mających na celu redukcję liczby wypadków. W pierwszej części przedstawiono definicję infrastruktury drogowej, jej rolę w systemie transportowym oraz statystyki wypadków drogowych wraz z analizą ich głównych przyczyn. Druga część omówiła kluczowe aspekty infrastruktury

Summary

The research objective of this chapter is to analyze the impact of road infrastructure on road safety and to identify effective solutions aimed at reducing the number of accidents. The first part presents the definition of road infrastructure, its role in the transport system and statistics of road accidents along with an analysis of their main causes. The second part discussed key aspects of infrastructure affecting safety, such as road geometry,

wpływające na bezpieczeństwo, takie jak geometria dróg, jakość nawierzchni, organizacja skrzyżowań oraz nowoczesne technologie. W ostatniej części zaprezentowano rekomendacje dotyczące modernizacji infrastruktury, przykłady skutecznych rozwiązań oraz propozycje dalszych badań nad optymalizacją systemu transportowego. Główny problem badawczy sformułowano: Jakie elementy infrastruktury drogowej mają największy wpływ na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego? Postawiona hipoteza badawcza zakłada, że odpowiednio zaprojektowana i utrzymywana infrastruktura drogowa, obejmująca nowoczesne technologie zarządzania ruchem, poprawę jakości nawierzchni oraz optymalizację skrzyżowań, znacząco zmniejsza ryzyko wypadków oraz ich skutki. W badaniu wykorzystano metody teoretyczne, w tym analizę literatury naukowej, przegląd danych statystycznych dotyczących wypadków drogowych oraz studia przypadków skutecznych rozwiązań infrastrukturalnych w różnych krajach. Główny wniosek z przeprowadzonej analizy wskazuje, że bezpieczeństwo ruchu drogowego można znacząco poprawić poprzez kompleksowe podejście obejmujące modernizację infrastruktury, wdrażanie inteligentnych systemów transportowych oraz optymalizację organizacji ruchu, co prowadzi do zmniejszenia liczby wypadków oraz ich skutków.

Słowa kluczowe: infrastruktura drogowa, bezpieczeństwo ruchu drogowego, zarządzanie ruchem, nowoczesne technologie, wypadki drogowe, środki poprawy bezpieczeństwa

surface quality, organization of intersections and modern technologies. The last part presents recommendations for the modernization of infrastructure, examples of effective solutions and proposals for further research on the optimization of the transport system. The main research problem was formulated: Which elements of road infrastructure have the greatest impact on the improvement of road safety? The research hypothesis assumes that properly designed and maintained road infrastructure, including modern traffic management technologies, improvement of pavement quality and optimization of intersections, significantly reduces the risk of accidents and their consequences. The study used theoretical methods, including analysis of scientific literature, a review of statistical data on road accidents, and case studies of successful infrastructure solutions in different countries. The main conclusion of the analysis is that road safety can be significantly improved through a comprehensive approach that includes upgrading infrastructure, implementing intelligent transport systems and optimising traffic organisation, leading to a reduction in the number of accidents and their consequences.

Keywords: road infrastructure, road safety, traffic management, modern technologies, road accidents, measures to improve safety

Wstęp

Bezpieczeństwo w ruchu drogowym jest jednym z kluczowych wyzwań współczesnego systemu transportowego. Wzrost liczby pojazdów, rozwój miast oraz rosnąca mobilność społeczeństwa sprawiają, że infrastruktura drogowa odgrywa kluczową rolę w minimalizowaniu ryzyka wypadków i poprawie warunków podróży. Statystyki wskazują, że wiele zdarzeń drogowych

wynika nie tylko z błędów ludzkich, ale także z nieodpowiedniego zaprojektowania i utrzymania dróg.

Współczesne badania wykazują, że czynniki takie jak geometria drogi, jakość nawierzchni, organizacja skrzyżowań oraz zastosowanie nowoczesnych technologii mogą znacząco wpływać na poziom bezpieczeństwa użytkowników dróg. Infrastruktura drogowa powinna nie tylko umożliwiać sprawne przemieszczanie się, ale także minimalizować skutki potencjalnych błędów kierowców, pieszych oraz rowerzystów.

Celem niniejszego rozdziału jest analiza wpływu infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Przedstawione zostaną kluczowe aspekty konstrukcji dróg, ich utrzymania oraz nowoczesnych rozwiązań technologicznych, które przyczyniają się do redukcji liczby wypadków. Na podstawie dostępnych badań oraz analiz eksperckich sformułowane zostaną rekomendacje dotyczące projektowania i modernizacji infrastruktury drogowej, w celu zwiększenia bezpieczeństwa wszystkich uczestników ruchu.

Definicja infrastruktury drogowej oraz jej rola w systemie transportowym

Infrastruktura drogowa stanowi kluczowy element systemu transportowego, który obejmuje zarówno fizyczne elementy dróg, jak i ich otoczenie, wpływające na organizację i bezpieczeństwo ruchu. Nowoczesna infrastruktura transportowa stanowi kluczowy element realizacji szybkiego transportu ładunków i osób[1], ale także zapewnia bezpieczeństwo wszystkim uczestnikom ruchu drogowego. Z tego powodu powinna być utrzymywana i rozwijana zgodnie z najwyższymi standardami[2].

Pojęcie „infrastruktura" nie jest jednoznaczne i w literaturze występuje wiele definicji[3]. Na ich podstawie można stworzyć ogólną definicję, która mówi, że infrastruktura drogowa to zbiór obiektów inżynieryjnych, takich jak jezdnie, skrzyżowania, chodniki, oznakowanie poziome i pionowe, sygnalizacja świetlna, a także elementy poprawiające bezpieczeństwo, np. bariery ochronne i oświetlenie uliczne.

[1] M. Kramarz, K. Dohn, E. Przybylska, L. Knop, *Scenarios forthe Development of Multimodal Transport in the TRITIACross-Border Area*, Sustainability, nr 12(17), 2020, s. 3.

[2] M. Urbański, J. Sudyka, K. Grondys, *Ocena ekspercka zarządzania infrastrukturą drogową*, Drogi i mosty, 20, 2021, s. 466.

[3] A. Jasińska, M. Jasiński, *Analiza porównawcza poziomu rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce*, Studia Ekonomiczne, nr 1, 2018, s. 146.

Rola infrastruktury drogowej jest wielowymiarowa. Przede wszystkim zapewnia ona efektywne przemieszczanie się osób i towarów, minimalizując czas podróży i koszty operacyjne transportu. Jednocześnie dobrze zaprojektowana i utrzymana infrastruktura wpływa na bezpieczeństwo ruchu drogowego, ograniczając liczbę kolizji oraz zmniejszając ich skutki. W literaturze możemy odnaleźć trzy kategorie korzyści wynikających z budowy czy modernizacji infrastruktury transportu. Są to:

- wymierne wartościowo: koszty eksploatacyjne środków transportu, skrócenie czasu podróży, przesunięcia międzygałęziowe w transporcie, zmiany wartości nieruchomości, wzrost aktywności ekonomicznej;
- społeczno-ekonomiczne: redystrybucja dochodu pomiędzy regionami i grupami społeczno-gospodarczymi, redystrybucja między różnymi użytkownikami, spadek bezrobocia;
- ochrona środowiska i bezpieczeństwa: wpływ na poziom zanieczyszczenia powietrza i hałas, a także bezpieczeństwo[4].

Współczesne rozwiązania inżynieryjne, takie jak inteligentne systemy transportowe (ITS) czy nowoczesne zarządzanie ruchem, odgrywają kluczową rolę w optymalizacji funkcjonowania dróg i redukcji ryzyka wypadków.

Bezpieczeństwo na drogach jest globalnym wyzwaniem, a analiza statystyk wypadków pozwala na identyfikację kluczowych zagrożeń i kierunków działań prewencyjnych. Według danych Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), każdego roku na drogach ginie około 1,3 miliona osób, a miliony doznają obrażeń. W Polsce w 2024 roku odnotowano ponad 20 tysięcy wypadków drogowych, w których zginęło około 2 tysięcy osób, a ponad 24 tysiące zostało rannych[5]. Główne przyczyny wypadków drogowych można podzielić na trzy kategorie:

- błędy ludzkie – nadmierna prędkość, nieustąpienie pierwszeństwa, jazda pod wpływem alkoholu, nieprawidłowe manewry[6];
- czynniki infrastrukturalne – złe oznakowanie, niebezpieczne skrzyżowania, brak odpowiedniego oświetlenia, zły stan nawierzchni;

[4] A. Domańska, *Wpływ infrastruktury transportu drogowego na rozwój regionalny*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006, s. 79-80.

[5] Wypadki drogowe. Wstępny bilans 2024 roku - było niebezpiecznie na polskich drogach, Jedź Bezpiecznie, https://jedz-bezpiecznie.pl/wstepny-bilans-2024-roku-bylo-niebezpiecznie-na-polskich-drogach-20250109, [dostęp: 27.02.2025 r.].

[6] E. Brożyna, *Czynnik ludzki a bezpieczeństwo w ruchu drogowym*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, R. 18, nr 7-8, 2017, s. 50.

- warunki atmosferyczne i techniczne – opady deszczu, mgła, oblodzenie jezdni, awarie pojazdów.

Badania wskazują, że infrastruktura drogowa odgrywa istotną rolę w ograniczaniu skutków błędów ludzkich oraz eliminacji zagrożeń wynikających z uwarunkowań środowiskowych. Poprawnie zaprojektowane skrzyżowania, dobrze oznakowane drogi oraz odpowiednie systemy zarządzania ruchem mogą znacząco zmniejszyć ryzyko kolizji. Podsumowując, istnieje szeroka gama badań naukowych potwierdzających, że odpowiednio zaprojektowana i utrzymywana infrastruktura drogowa ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Kluczowe aspekty infrastruktury wpływające na bezpieczeństwo

Bezpieczeństwo ruchu drogowego w dużej mierze zależy od jakości i funkcjonalności infrastruktury drogowej. Odpowiednio zaprojektowane drogi, dobrze utrzymana nawierzchnia, bezpieczne skrzyżowania oraz nowoczesne technologie, mogą znacząco zmniejszyć ryzyko wypadków i poprawić komfort podróżowania. Kluczowe aspekty infrastruktury, takie jak geometria drogi, jakość nawierzchni, organizacja skrzyżowań oraz dodatkowe elementy zabezpieczające, mają istotny wpływ na sposób poruszania się pojazdów i bezpieczeństwo wszystkich uczestników ruchu. Współczesne rozwiązania inżynieryjne oraz inteligentne systemy transportowe pozwalają na skuteczne zarządzanie ruchem i minimalizację zagrożeń.

Geometria drogi odgrywa kluczową rolę w bezpieczeństwie ruchu drogowego, wpływając na sposób poruszania się pojazdów oraz komfort jazdy. Szerokość pasów ruchu ma istotne znaczenie – zbyt wąskie pasy mogą prowadzić do zwiększonego ryzyka kolizji czołowych, natomiast zbyt szerokie mogą skłaniać kierowców do rozwijania nadmiernej prędkości. Optymalne rozwiązania konstrukcyjne uwzględniają także odpowiednie profilowanie zakrętów i łuków, które pozwala na płynne prowadzenie pojazdów i zmniejsza ryzyko utraty kontroli. Dodatkowym czynnikiem poprawiającym bezpieczeństwo jest odpowiednie oznakowanie poziome i pionowe. Czytelne i dobrze utrzymane linie na jezdni, a także jednoznaczne znaki drogowe, umożliwiają kierowcom szybkie podejmowanie decyzji i zapobiegają nieporozumieniom na drodze.

Jakość nawierzchni jest kolejnym istotnym aspektem wpływającym na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego. Drogi w złym stanie technicznym, posiadające liczne nierówności, koleiny czy ubytki, mogą prowadzić do

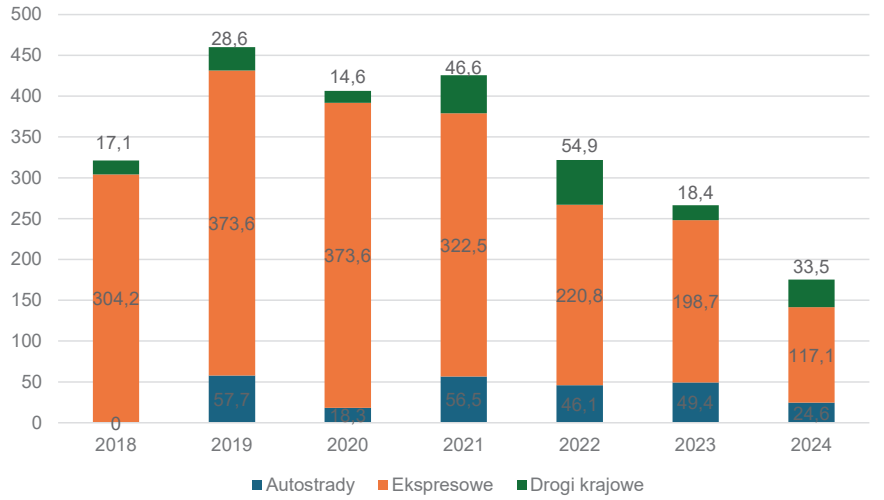
utraty przyczepności, a w konsekwencji do wypadków. Regularne utrzymanie nawierzchni, w tym jej naprawa i stosowanie nowoczesnych materiałów, zmniejsza ryzyko niebezpiecznych sytuacji. Jednym z kluczowych elementów w zapewnieniu bezpieczeństwa jest również efektywne odwodnienie drogi. Zalegająca na jezdni woda może prowadzić do zjawiska aquaplaningu, które powoduje utratę kontroli nad pojazdem. Współczesne technologie pozwalają na budowę dróg z nawierzchnią o właściwościach hydrofobowych, które poprawiają przyczepność i skracają drogę hamowania nawet w trudnych warunkach atmosferycznych. Aby lepiej zobrazować poprawienie się stanu polskich dróg w poniższej tabeli przestawiono długość sieci dróg szybkiego ruchu (A i S) w Polsce w latach 2016-2023.

Tabela 1. Długość sieci dróg szybkiego ruchu (A i S) w Polsce w latach 2016-2023

Rok	Autostrady (km)	Drogi ekspresowe (km)	Razem (km)
2016	1627,3	1533,7	3161,0
2017	1627,3	1808,9	3436,2
2018	1638,5	2092,2	3730,7
2019	1696,2	2450,3	4146,4
2020	1712,0	2557,0	4269,0
2021	1753,6	2871,3	4624,9
2022	1799,7	3087,4	4887,1
2023	1849,4	3266,4	5115,6

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GDDKiA.

Dobry stan infrastruktury drogowej oraz rozwinięta sieć połączeń drogowych wpływają znacznie na natężenie ruchu drogowego oraz przepustowość dróg, co zwiększa poziom bezpieczeństwa. Poniżej przedstawiono zestawienie oddanych dróg w latach 2018-2024.



Rysunek 1. Zestawienie oddanych dróg w latach 2018-2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GDDKiA.

Skrzyżowania należą do najbardziej newralgicznych punktów w infrastrukturze drogowej, ponieważ to właśnie w tych miejscach dochodzi do największej liczby kolizji i wypadków[7]. Poniżej w tabeli przedstawiono wybrane miejsca ruchu pieszych.

Tabela 2. Wybrane miejsca ruchu pieszych

Wybrane miejsca ruchu pieszych	Wypadki	Zabici	Ranni
Przejścia dla pieszych	2 684	132	2 658
Skrzyżowanie	1 055	61	1 022
Chodnik droga dla pieszych	327	17	314
Pobocze	40	9	40
Przystanek komunikacji publicznej	45	3	43

Źródło: Wypadki drogowe w Polsce, Komenda Główna Policji, Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa 2024.

Jak wynika z powyższych danych to skrzyżowania są jednym z najczęstszych miejsc wypadków. Sygnalizacja świetlna, jeśli jest odpowiednio zaprogramowana i dostosowana do natężenia ruchu, może znacząco poprawić płynność ruchu i zmniejszyć liczbę niebezpiecznych zdarzeń. Wprowadzenie

[7] R. Kozłowski, *Zależności między infrastrukturą transportu a poziomem bezpieczeństwa ruchu drogowego na drogach krajowych województwa łódzkiego*, Seria SWSPiZ: Przedsiębiorczość i Zarządzanie, Tom XII, Zeszyt 9, 2011, s. 194.

rond w miejsce klasycznych skrzyżowań również przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa. Badania wykazują, że liczba wypadków na skrzyżowaniach o ruchu okrężnym jest znacznie mniejsza w porównaniu do skrzyżowań ze światłami, głównie ze względu na zmniejszoną prędkość pojazdów i ograniczenie liczby punktów kolizyjnych. Coraz większe znaczenie mają również inteligentne systemy transportowe, które wykorzystują technologie monitorowania ruchu w czasie rzeczywistym, pozwalając na dynamiczne zarządzanie sygnalizacją świetlną i kierowaniem strumieni pojazdów.

Bezpieczeństwo na drogach w dużej mierze zależy także od dodatkowych elementów infrastruktury, które mają za zadanie chronić uczestników ruchu i minimalizować skutki ewentualnych wypadków. Bariery ochronne skutecznie zapobiegają wypadnięciu pojazdów z drogi, a także ograniczają skutki kolizji czołowych. Oświetlenie uliczne jest kluczowe, szczególnie w obszarach o dużym natężeniu ruchu pieszego, ponieważ poprawia widoczność zarówno kierowców, jak i pieszych. Dobrze zaprojektowane przejścia dla pieszych, wyposażone w sygnalizację świetlną lub dodatkowe podwyższenia, zwiększają bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu. Separacja ruchu pieszego i rowerowego od ruchu samochodowego, pozwala na ograniczenie liczby kolizji i poprawia komfort wszystkich uczestników ruchu drogowego.

Nowoczesne technologie w infrastrukturze drogowej odgrywają coraz większą rolę w poprawie bezpieczeństwa. Inteligentne systemy zarządzania ruchem umożliwiają monitorowanie natężenia ruchu i optymalizację pracy sygnalizacji świetlnej, co zmniejsza ryzyko wypadków spowodowanych zatorami drogowymi. Rozwój pojazdów autonomicznych oraz ich integracja z infrastrukturą drogową stanowi kolejny krok w kierunku bezpieczniejszego transportu. Inteligentne drogi, wyposażone w systemy komunikacji z pojazdami, mogą ostrzegać kierowców o niebezpiecznych warunkach czy zbliżających się przeszkodach, co pozwala na szybszą reakcję i uniknięcie kolizji. Nowoczesne systemy monitorowania, wykorzystujące kamery i czujniki, umożliwiają wykrywanie niebezpiecznych sytuacji na drodze i szybką interwencję odpowiednich służb.

W literaturze naukowej oraz raportach zarówno instytucji krajowych i międzynarodowych, istnieje wiele badań dotyczących wpływu infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Wśród najważniejszych ustaleń warto wymienić:

- geometria drogi i bezpieczeństwo – badania prowadzone przez European Road Safety Observatory (ERSO) wykazały, że nieprawidłowa geometria dróg, w tym zbyt ostre łuki poziome i pionowe oraz zbyt wąskie pasy ruchu, zwiększa ryzyko wypadków[8].
- efektywność rond w redukcji wypadków – analiza przeprowadzona przez National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) wykazała, że wprowadzenie rond zamiast tradycyjnych skrzyżowań zmniejsza liczbę poważnych kolizji nawet o 40%, głównie dzięki redukcji punktów kolizyjnych i wymuszeniu zmniejszenia prędkości[9].
- wpływ oznakowania i sygnalizacji świetlnej – badania dowodzą, że czytelne oznakowanie poziome oraz odpowiednio zaprogramowana sygnalizacja świetlna znacznie poprawiają bezpieczeństwo na drogach o dużym natężeniu ruchu. W szczególności stwierdzono, że systemy adaptacyjne dostosowujące długość sygnałów świetlnych do natężenia ruchu, mogą redukować ryzyko kolizji na skrzyżowaniach o nawet 30%.
- jakość nawierzchni i jej wpływ na wypadkowość – prace naukowe wskazują, że niski współczynnik przyczepności nawierzchni (np. z powodu nierówności, kolein czy złej jakości asfaltu), może prowadzić do zwiększonego ryzyka poślizgów i wydłużenia drogi hamowania. Regularna konserwacja nawierzchni i stosowanie nowoczesnych materiałów (np. asfaltu o wysokiej odporności na deformacje), mogą ograniczyć liczbę wypadków związanych z utratą kontroli nad pojazdem.

Infrastruktura drogowa ma ogromny wpływ na poziom bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Odpowiednio zaprojektowane drogi, dobrej jakości nawierzchnia, bezpieczne skrzyżowania oraz nowoczesne technologie mogą przyczynić się do znacznej redukcji liczby wypadków. Inwestowanie w rozwój infrastruktury oraz wdrażanie inteligentnych rozwiązań to kluczowe działania na rzecz poprawy bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego.

[8] European Road Safety Observatory - European Commission, https://roadsafety.transport.ec.europa.eu/european-road-safety-observatory_en, [dostęp: 27.02.2025 r.].

[9] *National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)*, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), [dostęp: 27.02.2025 r.].

Rekomendacje i propozycje dalszych działań nad optymalizacją infrastruktury drogowej w celu zwiększenia bezpieczeństwa w ruchu drogowym

Analiza wpływu infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu drogowego jednoznacznie wskazuje, że odpowiednie projektowanie, modernizacja oraz utrzymanie dróg, mogą znacząco zmniejszyć liczbę wypadków i ich skutków. Kluczowe aspekty, takie jak geometria drogi, jakość nawierzchni, organizacja skrzyżowań, a także separacja ruchu pieszego i rowerowego, odgrywają istotną rolę w zapewnieniu bezpiecznych warunków dla wszystkich uczestników ruchu drogowego.

Nieodpowiednia geometria dróg, w tym zbyt ostre łuki, nieprzystosowana szerokość pasów ruchu oraz brak odpowiednich oznakowań, prowadzi do wzrostu liczby kolizji i groźnych zdarzeń drogowych. Badania wskazują, że wprowadzenie odpowiednich standardów w zakresie projektowania dróg, takich jak minimalizacja ostrych zakrętów, dostosowanie szerokości pasów do charakterystyki ruchu oraz poprawa widoczności poprzez odpowiednie oznakowanie, może znacznie poprawić bezpieczeństwo[10].

Stan nawierzchni dróg ma równie istotne znaczenie. Nierówności, koleiny, ubytki w nawierzchni oraz niewłaściwe odwodnienie mogą przyczyniać się do utraty kontroli nad pojazdem, szczególnie podczas trudnych warunków pogodowych. Stosowanie nowoczesnych materiałów, takich jak mieszanki asfaltowe o podwyższonej odporności na ścieranie oraz specjalistyczne technologie zwiększające przyczepność, pozwala na znaczące zmniejszenie ryzyka poślizgów i wydłużonej drogi hamowania.

Skrzyżowania stanowią jeden z najbardziej niebezpiecznych elementów infrastruktury drogowej, dlatego ich odpowiednia organizacja i projektowanie mają kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa. Wprowadzenie inteligentnych systemów sterowania ruchem, optymalizacja sygnalizacji świetlnej oraz zastępowanie klasycznych skrzyżowań rondami pozwala na znaczną redukcję liczby wypadków, zmniejszenie punktów kolizyjnych oraz poprawę płynności ruchu[11].

[10] J. Barcik, P. Cech, *Wpływ infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu – część 1*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Transport, z. 67, 2010, s. 17.

[11] M. Szruba, *Wybrane czynniki wpływające na bezpieczeństwo w ruchu drogowym*, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, Marzec – Kwiecień 2019, s. 3

Nie można również pomijać roli dodatkowych elementów infrastrukturalnych, które zwiększają bezpieczeństwo. Bariery ochronne, oświetlenie uliczne, przejścia dla pieszych wyposażone w aktywne oznakowanie oraz separacja ruchu pieszego i rowerowego od ruchu pojazdów to rozwiązania, które przyczyniają się do znaczącego zmniejszenia liczby kolizji, szczególnie tych z udziałem niechronionych uczestników ruchu[12].

W wielu krajach wdrożono rozwiązania infrastrukturalne, które przyczyniły się do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Jednym z najbardziej efektywnych działań jest wprowadzenie rond zamiast tradycyjnych skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Badania wykazują, że tego typu rozwiązanie zmniejsza liczbę wypadków o około 40%, a liczbę wypadków śmiertelnych nawet o 70%. Wynika to przede wszystkim z ograniczenia liczby punktów kolizyjnych oraz konieczności zmniejszenia prędkości przez kierowców. Innym przykładem skutecznej modernizacji infrastruktury są inteligentne systemy zarządzania ruchem. Systemy te, wykorzystując czujniki i analizę natężenia ruchu, dynamicznie dostosowują sygnalizację świetlną do aktualnej sytuacji na drodze, co pozwala na ograniczenie liczby nagłych zatrzymań, a tym samym zmniejszenie ryzyka kolizji.

W krajach skandynawskich dużą rolę w poprawie bezpieczeństwa odgrywają zaawansowane rozwiązania w zakresie infrastruktury rowerowej i ruchu pieszego. Separacja ruchu rowerowego od ruchu samochodowego poprzez wydzielone ścieżki rowerowe oraz zastosowanie specjalnych barier ochronnych wzdłuż tras rowerowych, pozwala na znaczną redukcję liczby wypadków z udziałem rowerzystów. Dodatkowo stosowanie aktywnych przejść dla pieszych, które wykorzystują czujniki ruchu i sygnalizację świetlną ostrzegającą kierowców o obecności pieszego, skutecznie zmniejsza liczbę potrąceń[13].

Kolejnym wartym uwagi rozwiązaniem jest poprawa jakości nawierzchni poprzez zastosowanie specjalnych mieszanek asfaltowych, które zmniejszają hałas i poprawiają przyczepność. W krajach o częstych opadach atmosferycznych stosuje się porowate nawierzchnie, które skutecznie odprowadzają wodę i zapobiegają powstawaniu kałuż oraz zjawiska aquaplaningu.

[12] A. Wojtas, M. Szkoda, *Analiza wybranych czynników wpływających na bezpieczeństwo w ruchu drogowym*, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, vol. 220, nr 6, 2018, s. 1150.

[13] Kompleksowe badanie porównawcze w obszarze bezpieczeństwa ruchu drogowego Norwegii i Polski, Zespół Doradców Gospodarczych, Warszawa 2024, s. 120.

Mimo postępu technologicznego i wdrażania nowych rozwiązań w zakresie infrastruktury drogowej, konieczne jest dalsze prowadzenie badań nad skutecznością różnych metod poprawy bezpieczeństwa. W szczególności warto skupić się na analizie wpływu inteligentnych systemów transportowych oraz automatycznych systemów zarządzania ruchem na redukcję liczby wypadków. Przyszłe badania powinny także koncentrować się na integracji infrastruktury drogowej z pojazdami autonomicznymi. W miarę postępu technologii i rozwoju transportu autonomicznego kluczowe będzie opracowanie systemów komunikacji między pojazdami a infrastrukturą drogową (V2I – Vehicle-to-Infrastructure), które umożliwią szybką wymianę informacji o warunkach drogowych, przeszkodach oraz możliwych zagrożeniach[14].
Ważnym kierunkiem badań jest również analiza wpływu zmian klimatycznych na bezpieczeństwo ruchu drogowego oraz opracowanie nowych materiałów i technologii budowlanych, które będą bardziej odporne na ekstremalne warunki atmosferyczne. Wprowadzenie inteligentnych nawierzchni, które mogą dynamicznie dostosowywać swoje właściwości do panujących warunków (np. poprzez zmianę struktury w zależności od temperatury), może przyczynić się do znaczącego zwiększenia bezpieczeństwa na drogach.

Podsumowując, dalszy rozwój infrastruktury drogowej powinien koncentrować się na wdrażaniu nowoczesnych technologii, optymalizacji organizacji ruchu oraz poprawie jakości dróg i oznakowania. Kluczowe jest również prowadzenie badań nad skutecznością różnych rozwiązań oraz ich dostosowanie do specyficznych warunków geograficznych i klimatycznych. Współpraca między inżynierami, urbanistami i specjalistami ds. bezpieczeństwa ruchu drogowego jest niezbędna, aby tworzyć coraz bardziej efektywne i bezpieczne systemy transportowe.

Podsumowanie

Bezpieczeństwo ruchu drogowego jest jednym z kluczowych wyzwań współczesnego systemu transportowego, a infrastruktura drogowa odgrywa w nim fundamentalną rolę. Analiza wpływu infrastruktury na poziom bezpieczeństwa wykazała, że odpowiednie projektowanie dróg, dbałość o jakość

[14] *What is Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communication and why do we need it?*, https://www.3mindia.in/3M/en_IN/road-safety-in/resources/road-transportation-safety-center-blog/full-story/~/what-is-vehicle-to-infrastructure-v2i-communication-and-why-do-we-need-it/?story-id=0b95359f-9389-4233-9db4-63e307d36b70, [dostęp: 27.02.2025 r.].

nawierzchni, nowoczesne zarządzanie ruchem oraz zastosowanie inteligentnych technologii, mogą znacząco zmniejszyć liczbę wypadków i poprawić komfort podróży.

Jednym z najważniejszych wniosków wynikających z analizy jest fakt, że błędy ludzkie, które są główną przyczyną wypadków, mogą być skutecznie minimalizowane poprzez odpowiednie rozwiązania infrastrukturalne. Odpowiednio zaprojektowane drogi, z czytelnym oznakowaniem i właściwą organizacją ruchu, mogą zmniejszyć ryzyko błędnych decyzji kierowców oraz ich konsekwencji. Kluczowym elementem poprawy bezpieczeństwa jest również modernizacja skrzyżowań, w tym zastępowanie tradycyjnych skrzyżowań rondami oraz wdrażanie inteligentnych systemów zarządzania ruchem, które dostosowują się do aktualnej sytuacji na drodze.

Kolejnym istotnym wnioskiem jest znaczenie jakości nawierzchni. Utrzymanie dróg w dobrym stanie technicznym, stosowanie nowoczesnych materiałów o wysokiej przyczepności oraz efektywne systemy odwodnienia pozwalają na ograniczenie liczby wypadków związanych z trudnymi warunkami atmosferycznymi. W szczególności w rejonach o częstych opadach deszczu lub śniegu odpowiednie technologie nawierzchniowe mogą istotnie poprawić bezpieczeństwo.

Nowoczesne technologie odgrywają coraz większą rolę w poprawie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Inteligentne systemy transportowe, adaptacyjne sygnalizacje świetlne, zaawansowane oznakowania oraz integracja infrastruktury drogowej z pojazdami autonomicznymi to przyszłościowe rozwiązania, które mogą znacząco ograniczyć liczbę wypadków. Rozwój technologii komunikacji między pojazdami a infrastrukturą (V2I) oraz wdrażanie systemów predykcyjnych opartych na analizie danych mogą pomóc w przewidywaniu potencjalnych zagrożeń i ich eliminacji, zanim dojdzie do niebezpiecznej sytuacji.

Jednocześnie, mimo dynamicznego rozwoju infrastruktury drogowej, istnieje potrzeba dalszych badań nad optymalizacją systemu transportowego w kontekście bezpieczeństwa. Kluczowym kierunkiem zmian powinny być badania nad efektywnością różnych rozwiązań infrastrukturalnych w rzeczywistych warunkach ruchu oraz nad ich dostosowaniem do lokalnych uwarunkowań geograficznych, demograficznych i klimatycznych. Niezbędne jest również przeprowadzenie szczegółowych analiz dotyczących wpływu autonomicznych pojazdów na organizację ruchu oraz ich integracji z istniejącą infrastrukturą drogową. W perspektywie długoterminowej kluczowym wyzwaniem

będzie również dostosowanie infrastruktury drogowej do rosnących wymagań związanych z ochroną środowiska i zrównoważonym transportem. Rozwój miast wymaga inwestowania w infrastrukturę przyjazną dla pieszych i rowerzystów, a także wdrażania inteligentnych systemów ograniczających emisję spalin i redukujących natężenie ruchu.

Poprawa bezpieczeństwa w ruchu drogowym wymaga kompleksowego podejścia, łączącego modernizację infrastruktury z wykorzystaniem nowoczesnych technologii oraz dalszymi badaniami nad optymalizacją systemu transportowego. Dalsze inwestycje w inteligentne rozwiązania drogowe, badania nad skutecznością poszczególnych metod oraz integracja infrastruktury z systemami wspomagania kierowców i pojazdami autonomicznymi to kluczowe kierunki zmian, które mogą przyczynić się do znaczącej redukcji liczby wypadków i poprawy bezpieczeństwa na drogach.

Literatura

1. Barcik J., Cech P., *Wpływ infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu – część 1*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Transport, z. 67, 2010.
2. Brożyna E., *Czynnik ludzki a bezpieczeństwo w ruchu drogowym*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe", R. 18, nr 7-8, 2017.
3. Domańska A., *Wpływ infrastruktury transportu drogowego na rozwój regionalny*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
4. European Road Safety Observatory - European Commission, https://roadsafety.transport.ec.europa.eu/european-road-safety-observatory_en.
5. Jasińska A., Jasiński M., *Analiza porównawcza poziomu rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce*, Studia Ekonomiczne, nr 1, 2018.
6. Kompleksowe badanie porównawcze w obszarze bezpieczeństwa ruchu drogowego Norwegii i Polski, Zespół Doradców Gospodarczych, Warszawa 2024.
7. Kozłowski R., *Zależności między infrastrukturą transportu a poziomem bezpieczeństwa ruchu drogowego na drogach krajowych województwa łódzkiego*, Seria SWSPiZ: Przedsiębiorczość i Zarządzanie, Tom XII, Zeszyt 9, 2011.
8. Kramarz M., Dohn K., Przybylska E., Knop L., *Scenarios forthe Development of Multimodal Transport in the TRITIACross-Border Area*, Sustainability, nr 12(17), 2020.
9. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).
10. Szruba M., *Wybrane czynniki wpływające na bezpieczeństwo w ruchu drogowym*, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, Marzec – Kwiecień 2019.
11. Urbański M., Sudyka J., Grondys K., *Ocena ekspercka zarządzania infrastrukturą drogową*, Drogi i mosty, 20, 2021.
12. What is Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communication and why do we need it?, https://www.3mindia.in/3M/en_IN/road-safety-in/resources/road-transportation-

safety-center-blog/full-story/~/what-is-vehicle-to-infrastructure-v2i-communication-and-why-do-we-need-it/?storyid=0b95359f-9389-4233-9db4-63e307d36b70.
13. Wypadki drogowe. Wstępny bilans 2024 roku - było niebezpiecznie na polskich drogach, Jedź Bezpiecznie. https://jedz-bezpiecznie.pl/wstepny-bilans-2024-roku-bylo-niebezpiecznie-na-polskich-drogach-20250109.
14. *Wypadki drogowe w Polsce*, Komenda Główna Policji, Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa 2024.
15. Wojtas A., Szkoda M., *Analiza wybranych czynników wpływających na bezpieczeństwo w ruchu drogowym*, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, vol. 220, nr 6, 2018.