

dr inż. Marcin Dębiński^{1*)}

ORCID: 0000-0002-5967-0637

dr hab. inż. Janusz Bohatkiewicz, prof. uczelni²⁾

ORCID: 0000-0002-9659-2666

dr inż. Marek Motylewicz³⁾

ORCID: 0000-0002-2702-9829

Ochrona przed hałasem drogowym z wykorzystaniem zarządzania ruchem drogowym

Protection against road noise using traffic management

DOI: 10.15199/33.2023.08.07

Streszczenie. Hałas drogowy to duże zagrożenie dla zdrowia i komfortu życia obywateli Polski i Unii Europejskiej. Istnieją środki ochrony przed nim, które mają różną skuteczność oraz możliwości zastosowania. Niewiele jest natomiast rozwiązań związanych z zarządzaniem ruchem drogowym. Dokładne poznanie zależności pomiędzy warunkami ruchu drogowego umożliwia opracowanie nowych sposobów ochrony przed hałasem drogowym. Zastosowanie odpowiednich scenariuszy zarządzania ruchem może spowodować znaczną redukcję hałasu drogowego.

Słowa kluczowe: hałas drogowy; warunki ruchu drogowego; system sterowania ruchem; pojazdy autonomiczne.

Abstract. Road noise is a major threat to the health and comfort of Polish and EU citizens. There are measures to protect against it, with varying degrees of effectiveness and possibilities of application. However, there are few solutions related to traffic management. Accurate recognition of the relationship between traffic conditions provides an opportunity to develop new ways to protect against road noise. The application of appropriate traffic management scenarios can result in a significant reduction in road noise.

Keywords: road noise; traffic conditions; traffic control; autonomous vehicles.

Hałas drogowy jest najczęściej spotykanym i dotkliwym rodzajem hałasu. Organizacja World Health Organization (WHO) podaje, że w Unii Europejskiej przeszło 120 mln mieszkańców odczuwa skutki hałasu drogowego [1]. Powoduje to koszty związane z utratą komfortu życia i zdrowia, które szacuje się na 40 bilionów euro rocznie. Najważniejsze organizacje zajmujące się ochroną zdrowia, takie jak WHO, a także Unia Europejska, podjęły inicjatywy mające na celu przeciwdziałanie emisji hałasu drogowego. Przykładem tego jest wprowadzenie obowiązku wykonywania strategicznych map hałasu oraz programów ochrony przed nim.

WHO definiuje cztery rodzaje działań redukujących hałas opisane w [1]. Są to:

a) typ A – zmniejszenie hałasu w strefie emisji (zmiana natężenia ruchu, poprawa nawierzchni dróg, ograniczenie ruchu pojazdów ciężkich, nawierzchnie dróg i inne środki);

b) typ B – ograniczenie hałasu w strefie emisji (izolacja akustyczna mieszkania, zmiana stolarki okiennej);

c) typ C – przeniesienie hałasu ze strefy emisji (budowa tunelu, budowa obwodnicy);

d) typ D – inne środki ochrony przed hałasem.

Najczęściej stosowanym rozwiązaniem są ekrany przeciwhałasowe, które można zaklasyfikować do typu A [1]. Z najnowszych danych wynika, że w Polsce na drogach krajowych (autostradach i drogach ekspresowych) wybudowano 6 mln m² ekranów [2]. Jest to rozwiązanie w wielu sytuacjach skuteczne, ale generujące duże koszty oraz ingerujące w oto-

czenie drogi. Alternatywnymi sposobami redukcji hałasu drogowego są metody związane z zarządzaniem ruchem drogowym. Metody te mogą być skuteczne przy dobrym poznaniu charakterystyki potoku ruchu. W celu dokładnej oceny warunków ruchu należy określić parametry ruchu drogowego i wykorzystać je do działań mających na celu redukcję hałasu drogowego.

Metody ochrony przed hałasem drogowym

Na podstawie przeglądu stanu wiedzy i analiz własnych dotyczących warunków ruchu drogowego i jego wpływu na poziom hałasu drogowego oraz możliwości ochrony przed nim, sformułowano propozycję metod ochrony. Wszystkie odnoszą się do źródła hałasu, czyli potoku pojazdów. Pierwsza grupa rozwiązań to zmniejszenie hałasu w strefie emisji przez: optymalizację efektywności komunikacji, planowanie i zarządzanie parkingami; organizację, spowolnienie i ukierunkowanie ruchu, systemy zarządzania i kierowania ITS oraz uspokojenie ruchu [3]. Kolejne rozwiązania, to przeniesienie i połączenie ruchu na niektórych połączeniach związane z organizacją ruchu oraz zastosowanie inteligentnych systemów transportowych (ITS), które mogą być wykorzystywane zarówno w przypadku zmniejszenia hałasu w strefie emisji, jak i w przenoszeniu hałasu. Stosując środki sterowania ruchem i odpowiednie scenariusze, można uzyskać redukcję równoważnego poziomu dźwięku. Do określenia warunków ruchu drogowego wykorzystano metodę Highway Capacity Manual 6th [4]. Poziom hałas drogowy określono na podstawie wyników badań oraz symulacji za pomocą modelu NMPB-Routs [5] oraz CNOSSOS-EU [6].

¹⁾ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury

²⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

³⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

^{*)} Adres do korespondencji: m.debinski@pollub.pl

Jednym z możliwych środków ochrony przed hałasem może być sterowanie ruchem drogowym, a w przyszłości ruch pojazdów autonomicznych AV (o różnym poziomie autonomiczności). **Obecnie w ruchu drogowym znajduje się niewiele pojazdów o wysokim poziomie autonomiczności.** Większość badań i analiz bazuje na wynikach symulacji komputerowych [7]. Wzrost liczby pojazdów AV wg badań symulacyjnych może wpływać pozytywnie na przepustowość i bezpieczeństwo ruchu drogowego, zwiększając możliwość przepływu pojazdów nawet o 75% [8]. Elementy te zależne są od zachowania się pojazdu i jego charakterystyki poruszania względem innych pojazdów. Ważną rolę pełnią dwa podstawowe parametry: prędkość i odstęp między pojazdami. Wykorzystując te parametry, można w analizach optymalizować potok pojazdów autonomicznych pod względem kryterium warunków ruchu drogowego, aby minimalizować wpływ na środowisko.

Analiza danych systemów sterowania ruchem

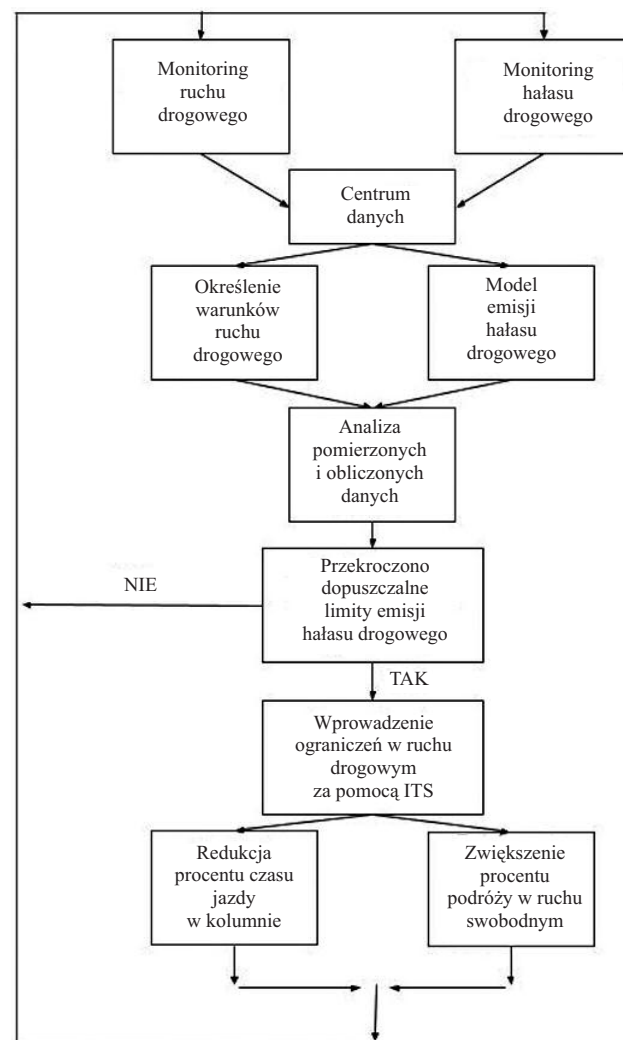
Inteligentne systemy sterowania ruchem drogowym zbierają wiele informacji o drodze, jej otoczeniu i przede wszystkim ruchu drogowym. Dane pozyskiwane są za pomocą urządzeń takich, jak pętle magnetyczne i inne elementy montowane w nawierzchni drogowej oraz radary czy urządzenia do wideodetekcji [9]. W Polsce systemy ITS są stosowane w dużych miastach i głównie na autostradach, drogach ekspresowych i niektórych drogach krajowych. Również można je spotkać na niektórych odcinkach dróg wojewódzkich, jak np. ITS Podhalański. System podzielony jest na trzy elementy: zarządzanie transportem zbiorowym; zarządzanie parkingami i sterowanie czasem przejazdu. Wszystkie te elementy mogą zostać wykorzystane do zmiany warunków i parametrów ruchu drogowego. Jednym z najbardziej znanych przykładów systemów sterowania ruchem w obszarach miejskich jest TRISTAR, który obejmuje swoim zakresem działania obszar Trójmiasta. Stosowanie tych systemów ma wpływ na [10]:

- przepustowość infrastruktury transportowej;
- bezpieczeństwo ruchu drogowego;
- czas podróży i zużycie energii;
- środowisko naturalne;
- warunki ruchu drogowego;
- bezpieczeństwo transportów towarowych;
- efektywność przewozów towarowych.

Dane z systemu są zbierane i poddawane analizie. Na ich podstawie podejmowane są decyzje i wybór scenariusza zarządzania ruchem drogowym [11]. Może on mieć wpływ nie tylko na ruch drogowy, ale również na środowisko naturalne [12]. Jednym z przykładów rozwiązań korzystających z rozbudowanego systemu transportu miejskiego jest stosowanie zmiennych cen za komunikację zbiorową i miejsca postojowe. Wraz ze wzrostem natężenia ruchu drogowego powinna zwiększać się cena parkingów oraz liczba autobusów, a także powinny tanieć bilety komunikacji zbiorowej [13]. Można zastosować to rozwiązanie w celu zredukowania liczby pojazdów ciężkich. Inną metodą mo-

że być eliminacja części użytkowników dróg w różnych dniach tygodnia. Rozwiązanie takie zastosowano w miejscowości Nanjing w Chinach [14], gdzie wprowadzono zakaz wjazdu do centrum miasta pojazdów z określonymi zakończeniami numerów rejestracyjnych. Spowodowało to redukcję natężenia ruchu drogowego nawet o 16% [14]. Metoda budzi jednak kontrowersje i jest trudna do zaakceptowania w polskich warunkach drogowych, ale w przypadku dużego zatłoczenia miast coraz bardziej realna. Najpierw należy zebrać informacje, odpowiednio je przeanalizować i podjąć decyzję o wyborze strategii działania w celu ograniczenia hałasu drogowego. Na rysunku 1 przedstawiono proponowany schemat postępowania w ramach stosowania inteligentnych systemów ruchu drogowego z uwzględnieniem hałasu drogowego i jego wpływu na mieszkańców.

Proces podejmowania decyzji został sformułowany na podstawie danych pochodzących z systemu monitoringu ruchu drogowego i hałasu drogowego. Podzielono go na kolejne etapy. Pierwszy to zbieranie danych uzyskanych z mierników,



Rys. 1. Algorytm postępowania w systemie ITS z uwzględnieniem warunków akustycznych [15]

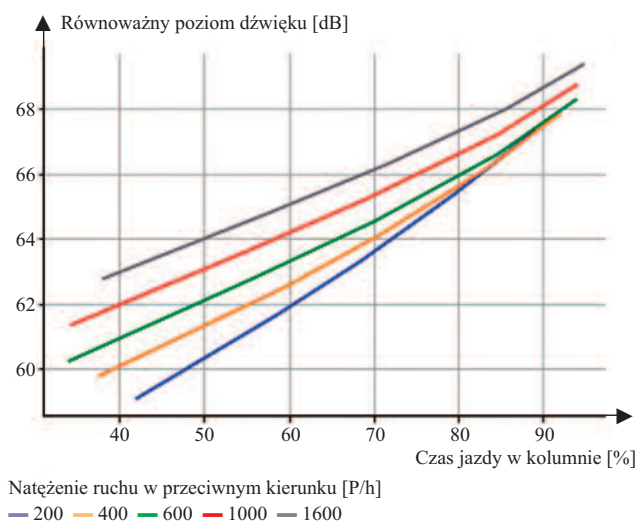
Fig. 1. Algorithm for proceeding with ITS considering acoustic conditions [15]

a drugi agregowanie oraz przygotowanie danych do dalszej analizy. Kolejnym krokiem jest określenie warunków ruchu drogowego oraz poziomów hałasu drogowego na sieci dróg. Punktem kontrolnym jest sprawdzenie, czy nie zostały przekroczone dopuszczalne limity emisji hałasu drogowego. W przypadku wystąpienia przekroczeń dane przekazywane są do systemu ITS.

Na podstawie warunków ruchu drogowego wybierany jest sposób ograniczenia hałasu drogowego. **Wykorzystując zależności pomiędzy warunkami ruchu drogowego a hałasem drogowym, zaproponowano sterowanie ruchem za pomocą dwóch parametrów: procent czasu jazdy w kolumnie lub procent podróży w ruchu swobodnym.** Wzrost procentu czasu jazdy w kolumnie można osiągnąć, redukując natężenie na jednym z kierunków. Wpływ obu tych parametrów i natężenia ruchu drogowego określono na podstawie symulacji z wykorzystaniem modelu Weidemana. Przykładowe obliczenia dotyczyły pięciu wariantów różniących się natężeniem ruchu drogowego przy założeniu tego samego udziału pojazdów ciężkich w potoku ruchu (10%) i zmiennym natężeniem ruchu w analizowanym kierunku (200 – 1600 P/h). Wyniki analizy przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

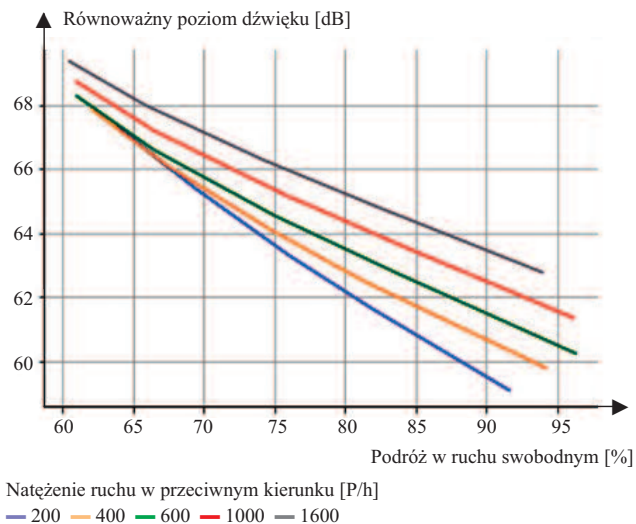
Największą redukcję poziomu hałasu można uzyskać w przypadku dużego natężenia ruchu drogowego. Odpowiednie działania powinny wynikać z przewidywanych schematów redukcji emisji hałasu drogowego. W przypadku parametru, jakim jest procent podróży w ruchu swobodnym, redukcja natężenia ruchu w przekroju drogi wpływa na zwiększenie tego parametru. Poprawa warunków ruchu drogowego powinna spowodować redukcję hałasu drogowego (rysunek 3).

W przypadku poprawy warunków ruchu przy użyciu procentu podróży w ruchu swobodnym można uzyskać redukcję równoważnego poziomu dźwięku nawet o 6 dB. Wyniki badań, symulacji i analizy potwierdzają możli-



Rys. 2. Redukcja równoważnego poziomu dźwięku przy zmianie procentu czasu jazdy w kolumnie [15]

Fig. 2. Reduction of the equivalent sound level when the percentage of driving time in the column is changed [15]



Rys. 3. Redukcja równoważnego poziomu dźwięku przy zmianie procentu podróży w ruchu swobodnym [15]

Fig. 3. Reduction of the equivalent sound level with a change in the value of the percentage of travel in free traffic flow [15]

wość wykorzystania zależności pomiędzy warunkami ruchu drogowego a hałasem drogowym do redukcji jego emisji.

Drugim rodzajem redukcji hałasu drogowego może być **wykorzystanie pojazdów autonomicznych (AV) i ich systemów sterowania** z uwzględnieniem parametrów warunkujących zachowanie pojazdów. Parametrem, który definiuje bezpieczeństwo ruchu pojazdu AV, jest odstęp od poprzedzającego go pojazdu. Zgodnie z założeniami pojazdy autonomiczne wymieniają dane na podstawie protokołów pojazd-pojazd lub pojazd-infrastruktura. Pierwszy protokół to m.in. przekazywanie informacji o położeniu względem siebie. W ramach zaprogramowanych scenariuszy zachowań mogą dopasowywać odległość od pojazdu poprzedzającego, uwzględniając warunki ruchu drogowego, prędkość oraz warunki atmosferyczne. Analiza dotyczy wpływu odległości pomiędzy pojazdami poruszającymi się z taką samą stałą prędkością. Korzystając z założeń związanych z bezpieczeństwem ruchu drogowego, obliczono minimalną odległość pomiędzy pojazdami ze względu na zatrzymanie. Wykorzystując te dane, obliczono gęstość ruchu drogowego, która jest wyrażona liczbą pojazdów na kilometr. Do obliczenia minimalnych odstępów pomiędzy pojazdami wykorzystano dwa sposoby: pierwszy uwzględniający warunki bezpieczeństwa oraz drugi bazujący na zależności między prędkością pojazdów, wielkością natężenia ruchu i odstępami między pojazdami. Wartości, które uzyskano, wykorzystano do obliczenia emisji hałasu drogowego. Wyniki analiz symulacji emisji hałasu drogowego przedstawiono w tabeli.

Zwiększenie przepustowości w przypadku pojazdów autonomicznych nie poprawi stanu zanieczyszczenia środowiska hałasem drogowym. Wzrost natężenia ruchu drogowego z zachowaniem dużych prędkości powoduje zwiększenie emisji hałasu drogowego. W związku z tym zalecane byłoby uwzględnianie kryteriów środowiskowych w scenariuszach i programach sterowania pojazdami autono-

Wyniki symulacji emisji hałasu drogowego w przypadku różnych odstępów pomiędzy pojazdami autonomicznymi w potoku ruchu

Simulation results of road noise emissions for different spacing of autonomous vehicles in the traffic stream

Prędkość [km/h]	Odległość między pojazdami [m]				Równoważny poziom dźwięku w zależności od odległości między pojazdami [dB]			
	minimalna (1)	minimalna (warunek bezpieczeństwa) (2)	maksymalna (3)	minimalna odległość pomiędzy pojazdami ze względu na hałas drogowy (4)	(1)	(2)	(3)	(4)
140	43,75	33,19	1400	165	80,1	81,1	67,2	64,0
130	40,63	31,19	1300	130	79,4	80,4	66,5	63,9
120	37,50	29,19	1200	95	78,6	79,5	65,7	64,0
110	34,38	27,19	1100	70	77,8	78,6	64,9	64,0
100	31,25	25,19	1000	50	76,9	77,7	64,0	64,0
90	28,13	23,20	900	35	75,8	76,6	63,0	63,9
80	25,00	21,20	800	25	74,7	75,3	61,8	63,6
70	21,88	19,20	700	20	73,4	73,9	60,5	62,6
60	18,75	17,20	600	20	72,0	72,3	59,1	60,6
50	15,63	15,20	500	20	70,2	70,3	57,3	58,1
40	12,50	13,20	400	15	68,1	67,9	55,2	56,2
30	9,38	11,20	300	15	65,3	64,7	52,4	52,4

micznymi. Należałoby dobierać odpowiednio odstępy pomiędzy pojazdami i prędkość z uwzględnieniem dopuszczalnych wartości hałasu drogowego. Pojazdy autonomiczne, przez odpowiednio zorientowane algorytmy sterowania ruchem, mogą poprawić bezpieczeństwo i warunki ruchu drogowego oraz znacznie zredukować emisję hałasu drogowego.

Podsumowanie

Przedstawione analizy potwierdzają możliwość poprawy warunków akustycznych w otoczeniu drogi za pomocą systemów sterowania ruchem drogowym z uwzględnieniem warunków ruchu drogowego. Stosując sterowanie ruchem z wykorzystaniem ITS w celu obniżenia emisji hałasu drogowego, należy uwzględniać wahania i warunki ruchu drogowego. W tym celu można wykorzystać: planowanie i zarządzanie parkingami; organizację, spowolnienie i ukierunkowanie ruchu oraz przeniesienie i połączenie ruchu. Potwierdza to konieczność uwzględnienia w analizach wpływu wahań i warunków ruchu drogowego na hałas drogowy. Redukcja emisji hałasu drogowego przy odpowiednim sterowaniu ruchem może wynosić nawet 6 dB. Jest to sposób, który nie wymaga ingerencji w otoczenie drogi i jednocześnie wykorzystywany jest do innych funkcji (celów). Może to być dynamiczna metoda redukcji hałasu drogowego, adaptująca się do zaistniałej sytuacji ruchowej. Jednocześnie odpowiednio przygotowane systemy ITS mogą być wykorzystane do ochrony przed hałasem drogowym. Rozwiązania, które stosowane są w systemach ITS, to zarządzanie prędkością i popytem, regulowanie dostęp-

ności wjazdu oraz wskazywanie tras alternatywnych. Pojazdy autonomiczne mogą być również środkiem ochrony przed hałasem drogowym. Należy jednak pamiętać, że pominięcie elementów ochrony środowiska w przypadku pojazdów AV spowoduje zwiększenie negatywnego wpływu na otoczenie.

Literatura

- [1] Environmental Noise Guidelines for the European Region, World Health Organization. 2018.
- [2] <https://www.gov.pl/web/gddkia/abc-ekranow-akustycznych-kiedy-gdzie-i-dlaczego-je-stawiamy>, 07.05.2023.
- [3] Bohatkiewicz J. Modelowanie i ocena rozwiązań chroniących przed hałasem drogowym. Politechnika Lubelska, Lublin, 2017.
- [4] Highway Capacity Manual 6th Edition A Guide for Multimodal Mobility Analysis Transport, Research Board, Washington D. C, 2016.
- [5] Dutilleul G, Defrance J, Ecotièrre D, Gauvreau B, Bérengier M, Besnard F, Duc EL. NMPB-ROUTES-2008: the revision of the French method for road

traffic noise prediction. Acta Acustica united with Acustica. 96, 3, 2010, p. 452 – 462.

[6] Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). Luxembourg, 2012.

[7] Bąk R, Kozaczka N. Wpływ pojazdów autonomicznych na sprawność ruchu – ocena zmian warunków ruchu na przykładzie przejścia dla pieszych. Współczesne wyzwania w projektowaniu infrastruktury drogowej i kolejowej, Monografia Politechniki Krakowskiej, 2021, p. 91-106.

[8] Maurer M, Gerdes JC, Lenz B, Winner H. The Effect of Autonomous Vehicles on Traffic, Autonomous Driving. Technical. Legal and Social Aspects. Autonomous Driving, Springer, 2016, p. 317 – 334.

[9] Guerrero-Ibáñez J, Zeadally S, Contreras-Castillo, J. Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems. Sensors, 18 2018.

[10] Zysińska M. Rozwój inteligentnych systemów transportowych w Polsce. TTS Technika Transportu Szybowego. 2013; 20: 853 – 873.

[11] Costabile F, Allegrini I. A new approach to link transport emissions and air quality: An intelligent transport system based on the control of traffic air pollution. Environmental Modeling & Software. 2008; 23: 258 – 267.

[12] Nasir MK, Noor RM, Masum BM. Reduction of Fuel Consumption and Exhaust Pollutant Using Intelligent Transport System. The Scientific World Journal 2014.

[13] Saharan S, Bawa S, Kumar N. Dynamic pricing techniques for Intelligent Transportation System in smart cities: A systematic review. Computer communications. 2020; 150: 603 – 625.

[14] Zhang S, Niu T, Ye Wu, Max Zhang K, Wallington TJ, Xie Q, Wu X, H. Xu. Fine-grained vehicle emission management using intelligent transportation system data. Environmental Pollution. 2018; 241: 1027 – 1037.

[15] Dębiński M. Wpływ ruchu drogowego jego wahań i warunków na poziom hałasu i możliwości ochrony. Rozprawa doktorska; Politechnika Lubelska; 2023.

Przyjęto do druku: 25.07.2023 r.