

Budownictwo i Architektura 13(1) (2014) 235-252

Wpływ uspokojenia ruchu na klimat akustyczny w otoczeniu ulic

**Janusz Bohatkiewicz¹, Wioleta Czarnecka¹,
Krzysztof Jamrozik², Sebastian Biernacki², Maciej Hałucha²**

¹*Katedra Budowy Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: j.bohatkiewicz@pollub.pl, w.czarnecka@pollub.pl*

²*EKKOM Sp. z o.o., e-mail: krzysztof.jamrozik@ek-kom.pl, sebastian.biernacki@ek-kom.pl,
maciej.halucha@ek-kom.pl*

Streszczenie: W referacie przedstawiono sposoby poprawy bezpieczeństwa i jakości życia osób mieszkających w sąsiedztwie tras komunikacyjnych i użytkowników ruchu związane z zastosowaniem środków uspokojenia ruchu. Skupiono się na korzystnym wpływie zastosowania środków uspokojenia ruchu na stan klimatu akustycznego na terenach otaczających drogi. W referacie przedstawiono również charakterystykę wybranych oddziaływań ruchu drogowego na środowisko oraz informacje wprowadzające, które dotyczą uspokojenia ruchu jako sposobu na łagodzenie tych uciążliwości. Przeanalizowano również możliwości kształtowania klimatu akustycznego i łagodzenia uciążliwości transportu za pomocą różnych metod uspokojenia ruchu. Następnie, na przykładzie studium przypadku (droga wojewódzka nr 824 w Puławach), określono skuteczność konkretnych rozwiązań kompleksowego uspokojenia ruchu, pod względem redukcji prędkości i zmniejszenia emisji hałasu. W analizach posłużono się wynikami wykonanych pomiarów (natężenia ruchu, prędkości pojazdów i poziomu hałasu) oraz obliczeń akustycznych realizowanych w ramach badań własnych autorów (wewnętrzny program badawczo-rozwojowy firmy EKKOM). Na podstawie wyników pomiarów oraz obliczeń omówiono także problem braku uwzględnienia w modelu obliczeniowym współczynników korygujących z uwagi na charakter ruchu uspokojonego oraz błędów w modelowaniu hałasu dla analizowanego przykładu.

Słowa kluczowe: Uspokojenie ruchu, bezpieczeństwo ruchu, prędkość, ochrona środowiska, ochrona przed hałasem, hałas.

1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo ruchu drogowego i ochrona środowiska to dwie różne dziedziny, które mają wspólny obszar oddziaływania. Tym obszarem, w którym koncentrują się one na wspólnym celu, jest ochrona zdrowia i życia człowieka. Bezpieczeństwo ruchu drogowego ma za zadanie zapewnić fizyczną ochronę człowieka przed bezpośrednimi zagrożeniami, jakie wynikają z ruchu pojazdów po drogach: uchronić go przed wypadkami drogowymi i obrażeniami ciała. Ochrona środowiska jest ukierunkowana na łagodzenie pośrednich uciążliwości pochodzących od

ruchu samochodów, które oddziałują niekorzystnie na człowieka: zaliczamy do nich przede wszystkim hałas, jako najbardziej odczuwalny, ale również zanieczyszczenie powietrza, gleb czy wód powierzchniowych i podziemnych. Głównymi czynnikami, które decydują o zagrożeniu wypadkami, emisji hałasu i pozostałych zanieczyszczeń są prędkość pojazdów i natężenie ruchu. Na obydwie te czynniki jednocześnie można wpływać poprzez zastosowanie środków uspokojenia ruchu drogowego. Wpływ wprowadzenia strefy ruchu uspokojonego na poprawę bezpieczeństwa i zmniejszenie oddziaływań akustycznych przedstawiono w niniejszym referacie na podstawie badań i analizy wybranego przypadku – odcinka drogi wojewódzkiej nr 824 w Puławach.

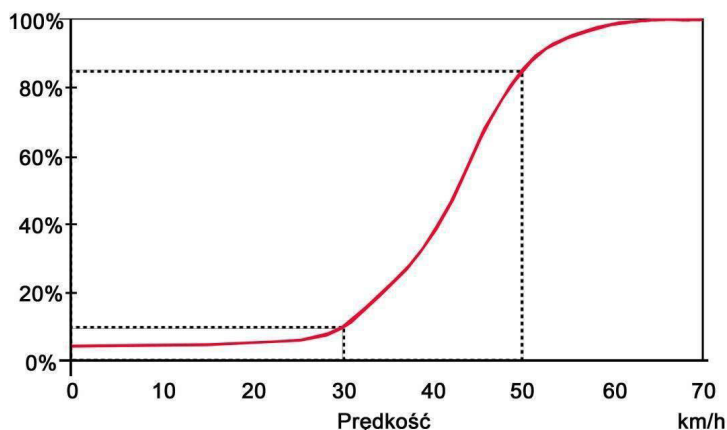
2. Wpływ ruchu pojazdów na jakość życia ludzi w otoczeniu drogi

Rozwój sieci dróg i transport drogowy stanowią nieodłączne elementy naszej cywilizacji i są przejawem pozytywnych zjawisk takich jak wzrost gospodarczy i postęp społeczny. Jednocześnie ruch pojazdów powoduje negatywne oddziaływania i zagrożenie dla człowieka. Najważniejszym z nich jest ryzyko utraty życia lub zdrowia w wyniku wypadku. Pod tym względem głównym zagrożeniem w ruchu drogowym jest nadmierna prędkość pojazdów. Im jest ona większa tym trudniej uniknąć wypadku i tym poważniejsze są obrażenia u ofiar.

W Polsce zbyt duża prędkość jest przyczyną ok. 30% wypadków śmiertelnych. W 2012 r. wypadki, w których uczestniczący w nich kierowcy jechali z prędkością niedostosowaną do warunków ruchu stanowiły 27% wypadków na drogach powiatowych, 25% wypadków na drogach krajowych i 21% wypadków na drogach wojewódzkich [1]. Przekraczanie dozwolonej prędkości w dalszym ciągu jest w Polsce zjawiskiem powszechnym. Zgodnie z raportem wykonanym na zlecenie Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego w 2013 r. na drogach miejskich z ograniczeniem prędkości do 50 km/h w dzień i do 60 km/h w nocy oraz na ulicach dwujezdniowych w miastach średnio w ciągu doby 80% kierowców przekraczało dozwoloną prędkość, przy czym 16% stanowiły przekroczenia o więcej niż 20 km/h. Z kolei, na przejściach dróg krajowych przez miasta i wsie, kierowcy przekraczający limit prędkości stanowili średnio w ciągu doby 83%, a przekroczenia o więcej niż 20 km/h stanowiły 26% [2].

Nagminne przekraczanie ograniczeń prędkości jest zagrożeniem zwłaszcza dla niechronionych uczestników ruchu: pieszych i rowerzystów. Polska niestety przoduje w tej niechlubnej statystyce: w naszym kraju piesi stanowią ok. 32% zabitych w wypadkach (dla porównania średnia w Unii Europejskiej wynosi 20%). Przykładowo, przy potrąceniu pieszego przez samochód jadący z prędkością 50 km/h prawdopodobieństwo, że poniesie on śmierć, jest bliskie 90%. Natomiast jeśli do potrącenia dojdzie przy prędkości 30 km/h pieszy ma 90% szans na przeżycie. Zależność tę ilustruje rys. 1 poniżej.

Sąsiedztwo drogi lub ulicy, po której poruszają się samochody z dużymi prędkościami powoduje niekorzystne oddziaływania środowiskowe, które są przyczyną pogorszenia kondycji zdrowotnej osób mieszkających w ich otoczeniu. Do tych oddziaływań należą przede wszystkim hałas, ale również zanieczyszczenia powietrza, gleby czy wód powierzchniowych i podziemnych.



Rys. 1. Zależność pomiędzy prędkością pojazdu i prawdopodobieństwem śmierci pieszego [6]

Według raportu Europejskiej Agencji Środowiska [3] około 40% ludności mieszkającej w największych miastach Unii Europejskiej może być narażona na średnie długookresowe poziomy hałasu generowanego przez ruch drogowy, które przekraczają 55 dB. Natomiast prawie 34 mln osób może być narażonych na długookresowe poziomy hałasu generowanego przez ruch drogowy, które przekraczają 50 dB w porze nocy. Są to wartości uznawane za dokuczliwe dla człowieka.

Hałas, jaki powstaje podczas ruchu drogowego generowany jest m.in. przez: silnik i układ napędowy pojazdu, oddziaływanie opon z nawierzchnią drogi, opory aerodynamiczne wytwarzane przez krawędzie pojazdu oraz uderzające o siebie elementy samochodów (głównie ciężarowych) i przewożonego ładunku. Parametrami decydującymi o poziomie hałasu są przede wszystkim: natężenie ruchu, prędkość pojazdów oraz udział w potoku ruchu tzw. pojazdów hałaśliwych - samochodów ciężarowych i motocykli. Bardzo istotne znaczenie na wielkość generowanego hałasu ma prędkość jazdy. Należy dodać, że jest to czynnik pozostający pod największą kontrolą zarządców dróg. Nie mają oni natomiast dużego wpływu na strukturę rodzajową ruchu czy na stan techniczny pojazdów poruszających się po drogach.

Należy również wspomnieć, że ruch drogowy jest również źródłem emisji substancji szkodliwych do powietrza: głównie dwutlenku węgla, tlenków azotu, węglowodorów aromatycznych, metali ciężkich oraz pyłów zawieszonych (PM10 i PM2.5). Powodują one takie choroby, jak: rak płuc, astma czy choroby układu krążenia. Według raportu [3] od 13% do 62% społeczeństwa Europy mieszkającego w obszarach miejskich jest narażona na stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu większe od wartości dopuszczalnych. Również drgania generowane przez ruch pojazdów są jednym z wielu rodzajów oddziaływań mających wpływ na zdrowie oraz komfort życia osób mieszkających w bezpośrednim sąsiedztwie dróg. Są one najbardziej odczuwalne w zabudowaniach zlokalizowanych blisko drogi, a ich intensywność i szkodliwość jest pochodną prędkości, struktury rodzajowej ruchu (głównie udziału pojazdów ciężkich), stanu nawierzchni, zdolności podłoża do przenoszenia drgań oraz materiałów, z których wykonane są budynki.

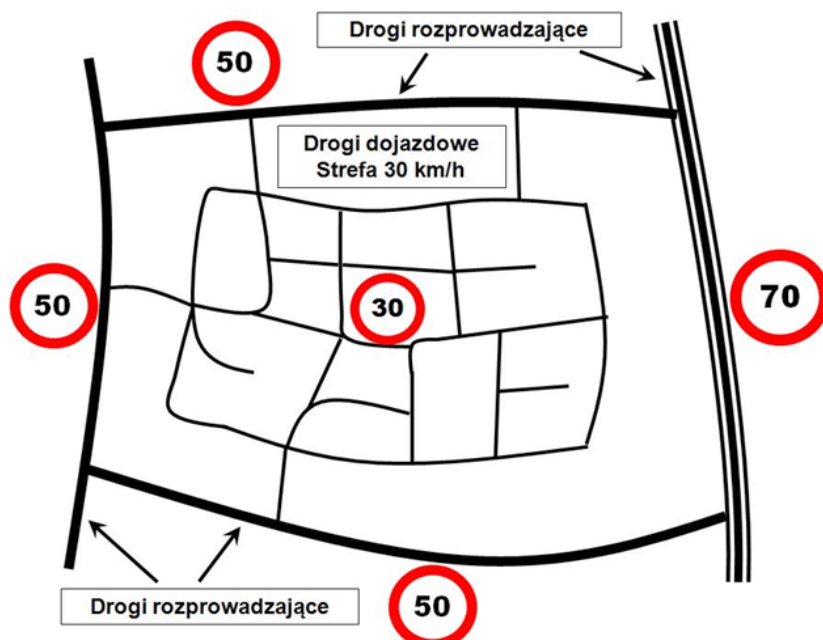
3. Uspokojenie ruchu jako sposób na poprawę bezpieczeństwa i stanu klimatu akustycznego

Jak powszechnie wiadomo, wprowadzenie oznakowania określającego prędkość dopuszczalną na danym odcinku drogi nie gwarantuje, że kierowcy będą przestrzegać tego ograniczenia. Ponieważ samo oznakowanie jest niewystarczające, wprowadza się dodatkowe elementy, które są w stanie w sposób automatyczny wyegzekwować przestrzeganie określonej prędkości. W zależności od tego, jaką funkcję ma pełnić droga lub ulica, poza wprowadzeniem odpowiedniego oznakowania informującego o maksymalnej prędkości dopuszczalnej, powinny się pojawić odpowiednie ukształtowanie geometrii oraz elementy wyposażenia drogi lub ulicy, które spowodują faktyczne ograniczenie prędkości. Jest to tzw. fizyczne uspokojenie ruchu za pomocą środków technicznych, które wywołuje pożądane zachowania uczestników ruchu, a jednocześnie zapobiega zachowaniom niepożądanym poprzez uniemożliwienie lub znaczące utrudnienie określonych zachowań, takich jak jazda z prędkością wyższą od dopuszczalnej, wyprzedzanie, skręcanie z niewłaściwego pasa ruchu itp.

Uspokojenie ruchu polega na takim kształtowaniu środowiska drogowego za pomocą środków planistycznych i inżynierskich, które pozwoli na osiągnięcie kompleksowego efektu poprawy bezpieczeństwa ruchu użytkowników dróg, zmniejszenia uciążliwości transportu i polepszenia funkcjonowania przestrzeni publicznej w obszarach zabudowanych. Zasadniczym i podstawowym sposobem na poprawę bezpieczeństwa jest zapewnienie odpowiednio niskiej prędkości ruchu pojazdów. Należy zwrócić uwagę, że w większości przypadków rozwiązania te mają na celu przede wszystkim doprowadzenie prędkości pojazdów do wartości zgodnej z ograniczeniami obowiązującymi na danym odcinku drogi, ulicy lub na danym obszarze.

Drugim ważnym elementem uspokojenia jest poprawa płynności ruchu. Polega on na stworzeniu warunków umożliwiających utrzymanie w miarę jednostajnej, bezpiecznej prędkości jazdy, dzięki zmniejszeniu liczby spowolnień i przyspieszeń pojazdu. Działania te są ukierunkowane na zmniejszenie zagrożenia wszystkich uczestników ruchu, a jednocześnie na ograniczenie oddziaływań środowiskowych i w efekcie na poprawę jakości życia ludzi.

Uspokojenie ruchu jest z reguły wprowadzane na znacznym obszarze miasta i polega na skoordynowanym stosowaniu fizycznych środków inżynierii drogowej i organizacji ruchu w celu zwiększenia bezpieczeństwa, zapewnienia przestrzegania przepisów, poprawy warunków środowiskowych i ładu przestrzennego oraz waloryzacji otoczenia. Jest to jednocześnie działanie z dziedziny zarządzania siecią drogową, zarządzania prędkością oraz zagospodarowania przestrzennego. Obejmuje ono wprowadzanie funkcjonalnej hierarchizacji układu drogowego (różnicowanie sieci drogowej w zależności od funkcji jaką pełni droga na danym obszarze) na terenie zabudowanym. Jednocześnie na całym obszarze wprowadza się fizyczne rozwiązania z zakresu inżynierii ruchu drogowego i organizacji ruchu, które mają za zadanie wyegzekwować na kierujących pojazdami przestrzeganie przepisowych ograniczeń prędkości, zakazów wyprzedzania i innych niebezpiecznych i nieprzepisowych zachowań poprzez stosowanie fizycznych środków technicznych. Schemat funkcjonalnie zhierarchizowanej sieci drogowo-ulicznej przedstawiono poniżej na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowy schemat funkcjonalnej hierarchizacji sieci drogowej – ulicznej wraz z zarządzaniem dostępnością i strefami prędkości [12].

W przypadku miast doprowadzenie prędkości pojazdów do wartości wynikających z przepisowych ograniczeń (czyli urealnienie prędkości ruchu) oraz wykształcenie takich warunków, aby ruch pojazdów odbywał się w sposób jak najbardziej płynny, powoduje dodatkowy efekt jakim jest znaczące obniżenie emisji hałasu. Jak wykazują badania, najniższa emisja hałasu występuje, gdy pojazdy poruszają się z prędkościami w przedziale od 30 – 50 km/h [7]. Dlatego też można przyjąć, iż prędkości, które występują po zastosowaniu środków uspokojenia ruchu (30-50 km/h), z punktu widzenia oddziaływania na klimat akustyczny są prędkościami optymalnymi. Należy natomiast wspomnieć, iż efekt ten nie zawsze jest odzwierciedlony w algorytmach modeli obliczeniowych, o czym wspomniano szerzej w dalszej części opisu.

4. Wpływ uspokojenia ruchu na stan klimatu akustycznego w otoczeniu dróg i ulic

Zestaw metod planistycznych i środków technicznych zwany uspokojeniem ruchu w praktyce powoduje poprawę kilku parametrów ruchu, które mają bezpośredni wpływ na kształtowanie klimatu akustycznego w otoczeniu dróg. Są to m.in.: poprawa płynności ruchu, obniżenie natężenia ruchu, ograniczenie ruchu pojazdów ciężkich oraz redukcja prędkości ruchu.

Poprawa płynności ruchu polega na zmniejszeniu liczby hamowań i przyspieszeń. Oprócz poprawy bezpieczeństwa użytkowników dróg, ma również zauważalny wpływ ograniczenie poziomu hałasu. Wyniki badań potwierdzają, że 1 samochód poruszający się z prędkością obrotową silnika równą 2000 obr/min

powoduje taki sam hałas jak 32 samochody poruszające się z tą samą prędkością ruchu, ale z prędkością obrotową silnika równą 4000 obr/min [8]. Zmiana stylu jazdy kierowców i poprawa płynności ruchu mogą mieć zatem bardzo wymierny wpływ na stan klimatu akustycznego, co można również zauważyć analizując dane przedstawione poniżej w tabeli 1. Odpowiednie działania, w tym przypadku obszarowe sterowanie ruchem powodujące jego upłynnienie, mogą zatem skutecznie zapobiegać zwiększaniu emisji hałasu.

Tabela 1. Wpływ ruchu z przyspieszeniem przy prędkości 30 km/h i 50 km/h na emisję hałasu w podziale na poszczególne kategorie pojazdów [8].

Rodzaj pojazdu	Przyspieszanie przy prędkości 30 km/h	Przyspieszanie przy prędkości 50 km/h
Samochód osobowy	+ 2,0 dB	+ 1,4 dB
Samochód dostawczy	+ 3,5 dB	+ 2,3 dB
Samochód ciężarowy (zależnie od mocy silnika)	od + 3,5 dB do + 4,4 dB	od + 2,7 dB do + 3,5 dB

Obniżenie natężenia ruchu w wybranych obszarach miasta odbywa się głównie na poziomie planistycznym. Poprzez odpowiednią politykę parkingową i ograniczenie dostępności centralnych obszarów (np. płatne parkowanie, opłaty za wjazd do centrum, zamknięcie niektórych obszarów dla ruchu), a także poprzez odpowiednie uprzywilejowanie komunikacji zbiorowej, zapewnienie dobrych warunków ruchu pieszym oraz promowanie wykorzystania roweru, można w istotny sposób wpłynąć na zmniejszenie ruchu pojazdów w wybranych strefach. Ma to bezpośredni wpływ na emisję dźwięku. Można tym sposobem (w zależności od wielkości redukcji natężenia ruchu) ograniczyć hałas nawet o ok. 6 dB [9], co jest bardzo znaczącą zmianą. Jednak, jak już wspomniano powyżej, aby uzyskać redukcję natężenia ruchu na wybranym obszarze na poziomie np. 75% trzeba koniecznie wprowadzić alternatywne sposoby dla zapewnienia odpowiedniej obsługi komunikacyjnej tego obszaru. Poniżej w tabeli 2. przedstawiono, jaki wpływ na redukcję poziomu hałasu ma ograniczenie natężenia ruchu.

Tabela 2. Wpływ redukcji natężenia ruchu na zmniejszenie poziomu hałasu [9].

Spadek natężenia ruchu	Zmniejszenie poziomu hałasu (L_{Aeq})
10%	0,5 dB
20%	1,0 dB
30%	1,6 dB
40%	2,2 dB
50%	3,0 dB
75%	6,0 dB

Ograniczenie ruchu pojazdów ciężkich jest jedną z metod poprawy zarówno bezpieczeństwa, jak i klimatu akustycznego. Zarządzanie dostępnością dróg i zakazy poruszania się określonych kategorii pojazdów powinny dotyczyć przede wszystkim pojazdów szczególnie hałaśliwych, które wywierają najbardziej niekorzystny wpływ na klimat akustyczny: ciężarówek i motocykli. Również zarządzanie dostępnością wybranych obszarów może odbywać się w sposób dynamiczny i można je uzależnić od zmiennych, takich jak określony dzień tygodnia, pora dnia lub roku. Poniżej

przedstawiono jak redukcja liczby pojazdów ciężkich w potoku ruchu wpływa na zmniejszenie emisji hałasu (tabela 3).

Tabela 3. Wpływ zmniejszenia udziału w ruchu pojazdów ciężkich na redukcję hałasu [9].

Zmniejszenie udziału w ruchu pojazdów ciężkich	Prędkość 50 km/h	Prędkość 80 km/h
z 5% do 0	- 0,7 dB	- 1,0 dB
z 10% do 0	- 1,4 dB	- 1,9 dB
z 15% do 0	- 2,0 dB	- 2,6 dB

Redukcja prędkości i doprowadzenie jej do wartości zgodnych z obowiązującymi ograniczeniami odbywa się poprzez kompleksowe zastosowanie fizycznego uspokojenia ruchu na wybranych obszarach (obszarowe uspokojenie ruchu) i ciągach ulic (liniowe uspokojenie ruchu). Zastosowanie kompleksowe oznacza, że nie stosuje się rozwiązań odosobnionych np. progów spowalniających na fragmencie jednej ulicy, tylko na większym obszarze: np. na całym osiedlu lub całym ciągu ulic wprowadza się szereg różnych rozwiązań, które przede wszystkim mają na celu fizyczne wyegzekwowanie na kierujących jazdy z prędkością zgodną z obowiązującym ograniczeniem.

Oprócz poprawy bezpieczeństwa wprowadzenie takiego ukształtowania i organizacji ruchu na sieci ulic, które wymusza jazdę z niższą prędkością, ma również pozytywny efekt w postaci obniżenia hałasu. W tym przypadku zmniejszenie oddziaływania akustycznego dotyczy całego ciągu ulicy, a nawet całego obszaru, ponieważ nie jest to rozwiązanie punktowe i odosobnione, tylko zastosowane kompleksowo dla większego obszaru.

Coraz bardziej powszechnym rozwiązaniem z dziedziny obszarowego uspokojenia ruchu, będącym jednocześnie sposobem na poprawę bezpieczeństwa i klimatu akustycznego, jest strefa ograniczenia prędkości do 30 km/h. Rozwiązanie to zdobywa coraz większą popularność również w Polsce. Strefa ta może być wprowadzana w ciągu drogi przechodzącej przez ścisłe centrum miejscowości, jak również jako układ dedykowany dla całej części miasta lub miejscowości. Obserwując ich wdrażanie można zauważyć, że w początkowym okresie (na etapie koncepcji i projektu oraz podczas realizacji) odbiór społeczny nie zawsze jest pozytywny. W większości przypadków wynika to z faktu, że kierowcy zbyt często odbierają sam fakt wprowadzenia strefy ograniczenia prędkości do 30 km/h jako restrykcję, mimo, że jeszcze przed jej wprowadzeniem rzeczywista prędkość pojazdów może być niższa niż 30 km/h. Jednocześnie zbyt mało eksponuje się korzyści dla niechronionych użytkowników dróg - pieszych i rowerzystów. Jednak z reguły po oddaniu do ruchu (czasem nawet po kilkumiesięcznym funkcjonowaniu), jeżeli wprowadzone rozwiązania są skuteczne, odbiór społeczny poprawia się na tyle, że przy kolejnych przebudowach ulic mieszkańcy wręcz wymuszają na władzach miasta wprowadzenie tego typu rozwiązań. Badania przeprowadzone w różnych krajach Europy dowodzą, że dzięki wprowadzeniu strefy ograniczenia prędkości do 30 km/h można osiągnąć spadek liczby wypadków i ofiar nawet o 70% [12]. Oprócz tego przyjmuje się, że rozwiązanie w postaci strefy 30 wpływa na obniżenie hałasu o kilka decybeli [13], co niewątpliwie stanowi istotną wartość dodaną tego typu realizacji.

5. Analiza skuteczności uspokojenia ruchu pod względem redukcji prędkości i emisji hałasu: studium przypadku na drodze wojewódzkiej nr 824 w Puławach

Uspokojenie ruchu na drodze wojewódzkiej nr 824 w Puławach zostało wprowadzone w ramach projektu „Miasteczko Holenderskie” zrealizowanego na obszarze osiedla Włostowice. Podstawowym celem pracy ukończonej w zimie 2009 r. było uzyskanie poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego na terenie osiedla Włostowice oraz na odcinku drogi wojewódzkiej przebiegającej na obrzeżu tego osiedla.

Miejski odcinek drogi wojewódzkiej nr 824 tworzą ulice Kazimierska i Włostowicka. Stanowi on główną oś układu drogowo-ulicznego południowej części Puław, a zarazem jest najczęściej wykorzystywaną drogą dojazdową do Kazimierza nad Wisłą, popularnej miejscowości rekreacyjno-wypoczynkowej. Z tego powodu główne założenia uspokojenia ruchu na miejskim odcinku drogi wojewódzkiej nr 824 były następujące:

- zachowanie dotychczasowej tranzytowej funkcji drogi, jednak przy nadaniu jej cech egzekwujących ograniczenia prędkości,
- weryfikacja dostępności do drogi i ograniczeń prędkości oraz zapewnienie ich egzekwowania za pomocą środków inżynierskich,
- zniechęcanie ruchu tranzytowego do przejeżdżania przez teren osiedla (zjeżdżania z drogi wojewódzkiej w głąb obszarów zabudowanych) – poprzez zastosowanie obszarowego uspokojenia ruchu na terenie całego osiedla.

Na miejskim odcinku drogi wojewódzkiej (ul. Kazimierska i ul. Włostowicka) wprowadzono kompleksowe uspokojenie ruchu od granicy miasta Puławy do skrzyżowania ul. Kazimierskiej z ul. Głęboką i ul. Skowieszyńską. Znajdują się na nim typowe elementy dla liniowego uspokojenia ruchu:

- bramy wjazdowe do miejscowości (obszaru zabudowanego) z kierunku południowego;
- wyniesione powierzchnie skrzyżowań;
- skrzyżowania z wydzielonymi pasami do skrętów w lewo;
- środkowy pas wyniesiony i brukowany o zmiennej szerokości (przejedny);
- ścieżka rowerowa powiązana z siecią dróg rowerowych w mieście;
- nowe zatoki autobusowe na przystankach.

Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę najważniejszych środków uspokojenia ruchu zastosowanych na analizowanym odcinku drogi wojewódzkiej, które mają wpływ zarówno na redukcję prędkości, jak i hałasu na sąsiadujących terenach podlegających ochronie akustycznej.

Pierwszym z nich jest **brama wjazdowa** do miejscowości. Stanowi ona rodzaj wyspy środkowej, powodującej odgięcie torów jazdy pojazdów wjeżdżających i wyjeżdżających z miasta (obszaru zabudowanego). Odgięcie to wymusza redukcję prędkości, co w połączeniu ze zmianą zagospodarowania terenu i zmianą wystroju otoczenia drogi wyraźnie wskazuje kierującemu na wjazd do strefy o ograniczonej prędkości, w której występuje wzmożony ruch pieszy, rowerowy, większa gęstość skrzyżowań itd. Jedna brama jest zlokalizowana na granicy administracyjnej mia-

sta, w miejscu gdzie zwiększa się intensywność zabudowy i pojawiają się chodniki. Druga brama znajduje się natomiast na początku odcinka drogi w miejscu, gdzie zaczyna się odcinek ruchu uspokojonego (fot. 1).



Fot. 1. Brama wjazdowa na drodze wojewódzkiej nr 824 w Puławach.

Wyniesione powierzchnie skrzyżowań (fot. 2) poprawiają ich dostrzegalność, porządkują ruch i wymuszają zmniejszenie prędkości przy wjeździe na skrzyżowanie z każdego kierunku. Dodatkowo poprawiają bezpieczeństwo i komfort poruszania się pieszych, ponieważ powierzchnia wyniesiona tarczy skrzyżowania zrównana jest z poziomem chodników, a bezpośrednio przed przejściem dla pieszych znajduje się najazd spowalniający pojazdy. Na niektórych wyniesionych skrzyżowaniach znajdują się wydzielone pasy do skrętów w lewo. Wyniesione powierzchnie skrzyżowań są powiązane ze środkowym pasem brukowanym i znajdują się na najważniejszych skrzyżowaniach na przedmiotowym odcinku. Na wyniesionych skrzyżowaniach oraz na innych wyniesionych powierzchniach spowalniających ruch zastosowanych na obszarze „Miasteczka Holenderskiego” bardzo istotną rolę odgrywają rampy najazdowe o profilu sinusoidalnym. Dzięki takiemu ukształtowaniu najazdu nie występuje efekt podrzutu, a jednocześnie możliwe jest dostosowanie najazdu do różnych wartości prędkości, co znacznie rozszerza możliwość stosowania wyniesionych elementów spowalniających ruch. Sinusoidalny przekrój rampy powoduje również mniejszy hałas przejeżdżających po nim pojazdów.



Fot. 2. Wyniesiona powierzchnia skrzyżowania na drodze wojewódzkiej nr 824 w Puławach

Środkowy pas wyniesiony to kolejny środek uspokojenia ruchu zastosowany w ciągu drogi wojewódzkiej nr 824. Jest on wykonany z kostki betonowej, wyniesiony ponad poziom nawierzchni bitumicznej oraz obramowany krawężnikiem leżącym. Pas ten dopuszcza przejazd pojazdów, ale tylko w określonych celach, tj. dojazdy do posesji, wyprzedzanie pojazdów wolnobieżnych, omijanie pojazdów które uległy awarii itd. Pas brukowany powoduje separację przeciwnych kierunków ruchu, a co za tym idzie ogranicza niebezpieczne wyprzedzanie. Ponieważ podstawowe pasy ruchu zostały zawężone do minimalnych dopuszczalnych szerokości, obecność dodatkowego pasa dodatkowo optycznie zawęży pasy ruchu i ma wpływ na skuteczniejsze ograniczenie prędkości. Pas brukowany ma zmienną szerokość, dostosowaną do warunków miejscowych, istniejącej zabudowy i potrzeb wynikających z geometrii drogi. Fragment tego rozwiązania przedstawiono poniżej na fot. 3.

W ramach badań poziomu hałasu wykonano pomiary pilotażowe hałasu w kilku charakterystycznych punktach zlokalizowanych w sąsiedztwie odcinka drogi wojewódzkiej nr 824 w Puławach. Na podstawie analizy wyników pomiarów możliwe było określenie poziomu dźwięku w miejscach, w których zastosowano różnego rodzaju metody uspokojenia ruchu. Czas w jakim wykonano każdy pomiar w sąsiedztwie ul. Włostowickiej i Kazimierskiej był równy 15 minut, co umożliwiło późniejszą weryfikację modelu obliczeniowego. Nie można natomiast na podstawie analizy wyników tych pomiarów stwierdzić czy poziom dźwięku w poszczególnych miejscach przekracza wartości dopuszczalne (nie było to celem niniejszego badania i pomiarów pilotażowych).



Fot. 3. Środkowy pas wyniesiony na drodze wojewódzkiej nr 824 w Puławach

W każdym przypadku wraz z pomiarami hałasu wykonywano również pomiary natężenia ruchu i prędkości pojazdów. Są to jedne z najważniejszych (oprócz udziału pojazdów ciężkich w potoku ruchu) parametrów, które decydują o poziomie hałasu w sąsiedztwie tras komunikacyjnych. Łączna analiza tych parametrów (równoważny poziom dźwięku, natężenie ruchu, prędkość pojazdów), umożliwiła sformułowanie kompleksowych wniosków dotyczących wpływu uspokojenia ruchu na stan klimatu akustycznego w sąsiedztwie drogi wojewódzkiej nr 824. Należy zaznaczyć, że efekt redukcji hałasu związany z zastosowaniem środków uspokojenia ruchu nie jest związany tylko z obniżeniem prędkości, co jest głównym celem stosowania tego typu rozwiązań. Równie istotna jest zmiana stylu jazdy kierowców, co w połączeniu z redukcją prędkości może spowodować znaczne ograniczenia poziomu dźwięku. Zagadnienie to opisano nieco szerzej w dalszej części opisu. Poniżej w tabeli 4 przedstawiono charakterystykę miejsc, w których wykonywano pomiary.

Tabela 4. Charakterystyka miejsc zlokalizowanych w sąsiedztwie drogi wojewódzkiej nr 824 w Puławach, dla których wykonano pomiary hałasu i obliczenia akustyczne.

Lp.	Opis przekroju pomiarowego (zastosowane sposoby uspokojenia ruchu drogowego)
1	Przejazd pojazdów przed strefą ruchu uspokojonego na granicy administracyjnej miasta Puławy.
2	Przejazd pojazdów przez bramę nr 1 zlokalizowaną za granicą administracyjną miasta Puławy
3	Przejazd pojazdów pomiędzy bramą nr 1 i 2
4	Przejazd pojazdów przez bramę nr 2 zlokalizowaną bezpośrednio przed początkiem strefy uspokojenia ruchu.
5	Przejazd pojazdów pomiędzy bramą nr 2 i skrzyżowaniem z wyniesioną tarczą ul. Włostowickiej i Kowalskiej
6	Najazd pojazdów na skrzyżowanie z wyniesioną tarczą ul. Włostowickiej i Kowalskiej
7	Przejazd przez skrzyżowanie z wyniesioną tarczą ul. Włostowickiej i Kowalskiej
8	Przejazd pomiędzy skrzyżowaniem z wyniesioną tarczą ul. Włostowickiej i Kowalskiej i progiem zwalniającym
9	Przejazd przez próg zwalniający

Poniżej w tabeli 5 przedstawiono wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku, natężenia ruchu i prędkości pojazdów. Pomiary hałasu wykonywane były w punktach zlokalizowanych w odległości 10 m od krawędzi jezdni i na wysokości 4 m nad poziomem terenu. Należy zaznaczyć, że z uwagi na uwarunkowania terenowe, pomiar hałasu w punkcie nr 9 (przejazd przez próg) wykonany został w odległości bliższej – 4.3 m od krawędzi jezdni. W celu porównania wyników tego pomiaru z innymi, obliczono przy użyciu modelu, poziom dźwięku w tym samym przekroju, ale w punkcie oddalonym o 10 m od krawędzi drogi. Otrzymano w ten sposób poprawkę z uwagi na zwiększenie odległości punktu od źródła dźwięku i w dalszej części referatu przyjmowano wyniki w tym punkcie z uwzględnieniem korekcy.

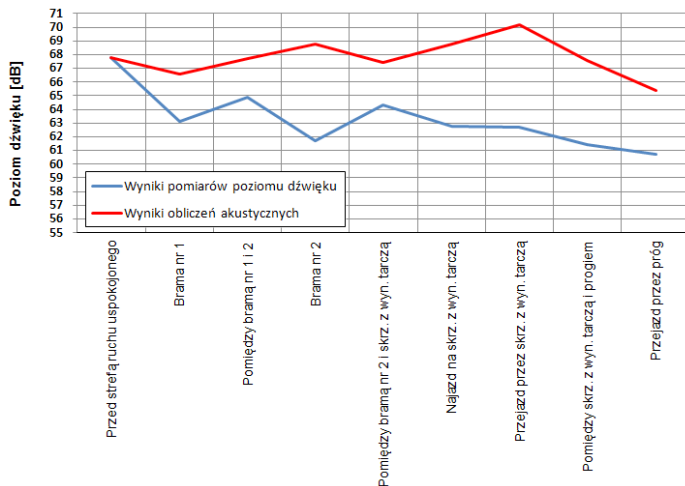
Tabela 5. Zestawienie wyników pomiarów poziomu dźwięku, natężenia ruchu i prędkości pojazdów w miejscach, w których zastosowano różne sposoby uspokojenia ruchu.

Nr punktu pomiarowego	Natężenie ruchu w czasie, w którym wykonywano pomiary hałasu (15 minut)		Średnia prędkość pojazdów [km/h], zmierzona w trakcie wykonywania pomiarów hałasu.		Zmierzony równoważny poziom dźwięku [dB A]
	Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie	Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie	
1	102	7	69	68	67.8
2	120	6	45	36	63.1
3	118	9	59	56	64.9
4	126	8	27	23	61.7
5	132	9	49	48	64.3
6	159	6	27	19	62.8
7	148	8	24	24	62.7
8	176	7	35	30	61.4
9	195	5	27	16	63.6 (60.7)*

*) Z uwagi na ograniczenia związane z zagospodarowaniem terenu, punkt pomiarowy był zlokalizowany w odległości 4.3 m od krawędzi jezdni. Poziom dźwięku równy 63.6 dB to wynik pomiaru, natomiast na potrzeby referatu uwzględniono korekcję równą 2.9 dB (na podstawie wyników obliczeń w punkcie zlokalizowanym w tym samym przekroju, ale odległym od krawędzi jezdni o 10 m) i do dalszych analiz przyjmowano poziom 60.7 dB.

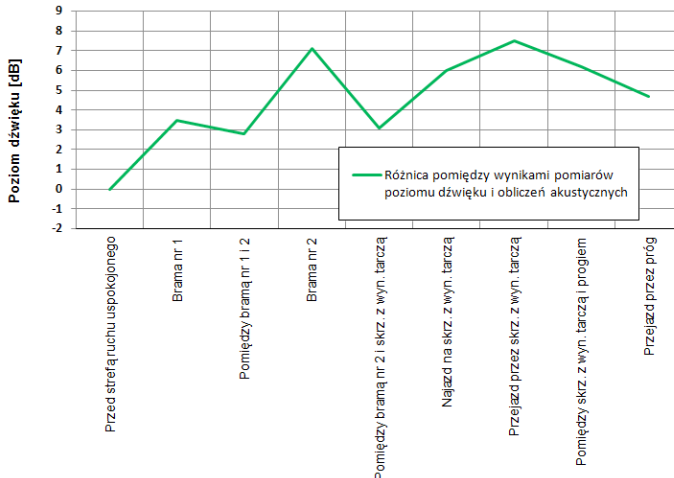
Analizując wyniki pomiarów przedstawione w powyższej tabeli, należy w pierwszej kolejności zwrócić uwagę, na zwiększające się natężenie ruchu pojazdów w każdym kolejnym przekroju pomiarowym zlokalizowanym coraz bliżej centrum Puław (w punkcie nr 1 natężenie ruchu jest najmniejsze, a w punkcie nr 9 największe). Wpływ na to może mieć różny czas, w którym wykonywano pomiary oraz zmiana charakteru ruchu, który w przekrojach zlokalizowanych najbliżej centrum miasta, miał charakter coraz bardziej lokalny, a mniej tranzytowy. Poziom dźwięku przyjmuje natomiast największą wartość w przekroju nr 1, w którym natężenie ruchu pojazdów było najmniejsze. Punkt ten, jako jedyny zlokalizowany był poza strefą ruchu uspokojonego. Prędkości pojazdów były w tym przypadku największe (blisko 70 km/h zarówno dla pojazdów lekkich, jak i ciężkich). W każdym kolejnym punkcie zmierzona prędkość pojazdów była mniejsza, co wiązało się oczywiście z istniejącą strefą uspokojenia ruchu. Pomimo wzrostu natężenia ruchu o prawie 100% (różnica pomiędzy punktem nr 1 i 9), poziom dźwięku w każdym punkcie, zlokalizowanym w strefie uspokojenia ruchu był niższy niż w punkcie nr 1. Maksymalna różnica wyniosła ponad 7 dB. Należy podkreślić, że pomiary poziomu dźwięku były wykonywane w czasie 15 minut, o czym wspomniano już powyżej. W związku z tym ich wyniki należy traktować orientacyjnie. Niemniej redukcja poziomu dźwięku w każdym punkcie o co najmniej 3 dB (maksymalnie ponad 7 dB), świadczy o znacznym i bardzo korzystnym wpływie zastosowania strefy ruchu uspokojonego na stan klimatu akustycznego w sąsiedztwie drogi wojewódzkiej nr 824 w Puławach. Należy podkreślić, że w sytuacjach, w których zastosowanie innych działań mających na celu poprawę klimatu akustycznego (np. ekrany akustyczne, nawierzchnia o obniżonej hałaśliwości, itp.) może być niemożliwe, uspokojenie ruchu może być najlepszym i bardzo skutecznym sposobem na obniżenie poziomu dźwięku. Zastosowanie tego typu działań może być bardzo dobrym rozwiązaniem szczególnie w centrach miast lub na terenach obszarów zabudowanych – osiedli mieszkaniowych, gdzie oprócz obniżenia hałasu, nastąpi również poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego związana z obniżeniem prędkości pojazdów i zmianą stylu jazdy kierowców na mniej agresywny.

W ramach niniejszego referatu wykonano również obliczenia akustyczne w tych samych punktach, w których wykonywane były pomiary hałasu „in situ”. W tym celu wykorzystano francuski model obliczeniowy NMPB Routes-96 (Guide du Bruit). Przekrój nr 1, zlokalizowany poza strefą ruchu uspokojonego, przyjęto jako referencyjny, a model akustyczny skalibrowano w tym punkcie do wyników pomiarów. Wyniki pomiarów hałasu i obliczeń przedstawiono poniżej na rys. 4.



Rys. 4. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku i obliczeń akustycznych w punktach zlokalizowanych w strefie uspokojonego ruchu w ciągu drogi wojewódzkiej nr 824 w Puławach.

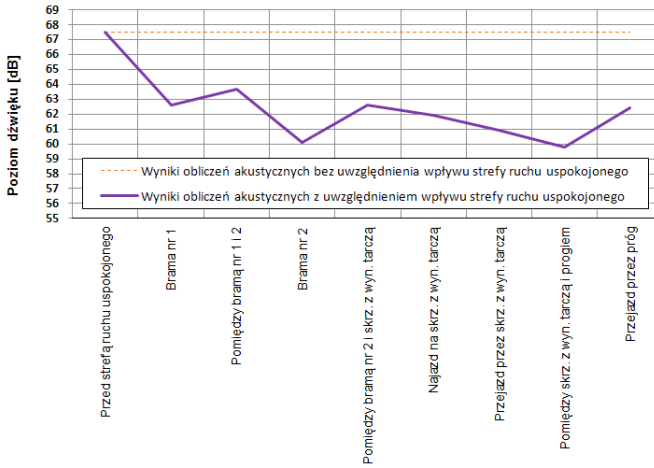
Analizując dane przedstawione na powyższym rysunku należy zauważyć znaczne rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów hałasu i obliczeń akustycznych we wszystkich punktach, które znajdowały się w strefie ruchu uspokojonego. W każdym miejscu poziom dźwięku zmierzony w warunkach rzeczywistych był mniejszy niż poziom otrzymany z obliczeń akustycznych. Różnicę tę przedstawiono dodatkowo na rys. 5 poniżej.



Rys. 5. Różnica pomiędzy wynikami pomiarów poziomu dźwięku i wynikami obliczeń akustycznych wykonanych w sąsiedztwie drogi wojewódzkiej nr 824 w Puławach (wartość dodatnie oznaczają, że poziom dźwięku zmierzony w warunkach rzeczywistych jest mniejszy niż poziom dźwięku otrzymany z obliczeń).

Francuski model obliczeniowy NMPB Routes-96 uwzględnia w obliczeniach podstawowe parametry ruchu decydujące o poziomie dźwięku (natężenie ruchu, prędkości pojazdów, udział procentowy pojazdów ciężkich). Znaczne rozbieżności powstałe pomiędzy wynikami pomiarów i obliczeń mogą być w tym przypadku spowodowane brakiem uwzględnienia w wystarczający sposób w algorytmach modelu obliczeniowego korekcji związanych ze stylem jazdy kierowców w strefie ruchu uspokojonego. Brak gwałtownych manewrów przyspieszania i hamowania, który charakteryzuje uspokojony ruch, powoduje mniejszą emisję hałasu, co nie zostało w rzeczywisty sposób uwzględnione w modelu pomimo tego, że zakłada on kilka uproszczonych stylów jazdy. W strefie ruchu uspokojonego utworzonej w ciągu drogi wojewódzkiej nr 824 prędkość z jaką poruszają się kierowcy kształtuje się w większości przypadków w przedziale 20 – 50 km/h. Model francuski charakteryzuje się natomiast wzrostem poziomu dźwięku dla prędkości mniejszej niż 50 km/h, co nie oddaje w rzeczywisty sposób poziomu dźwięku, jaki jest emitowany przez pojazdy poruszające się z niższymi prędkościami. W związku z powyższym należy pamiętać, aby każdorazowo wyniki obliczeń akustycznych wykonanych w celu określenia klimatu akustycznego na terenach sąsiadujących ze strefą uspokojonego ruchu weryfikować z wynikami pomiarów hałasu wykonanymi w warunkach rzeczywistych. Celowe wydaje się również kontynuowanie badań w celu oszacowania współczynników korekcyjnych, które będzie można kompleksowo uwzględniać w modelach podczas wykonywania obliczeń dla odcinków dróg, na których zastosowano różne metody uspokojenia ruchu.

W każdym punkcie, w którym wykonywano pomiary hałasu na potrzeby niniejszego referatu natężenie ruchu pojazdów było różne. Utrudniało to określenie wprost redukcji poziomu dźwięku jaka nastąpiła w każdym analizowanym miejscu, w którym zastosowano poszczególne metody uspokojenia ruchu. W związku z tym, w ramach niniejszego referatu, wykonano ponownie obliczenia akustyczne, ale tym razem założono w obliczeniach i modelowaniu, że na całym analizowanym odcinku drogi natężenie ruchu jest stałe (przyjęto wartości średnie otrzymane z wszystkich punktów pomiarowych). Obliczenia wykonano w dwóch wariantach (rys. 6). W pierwszym z nich założono hipotetycznie, że strefa ruchu uspokojonego nie istnieje (na całym analizowanym odcinku natężenie ruchu i prędkości pojazdów są stałe). W drugim wariantcie obliczeniowym założono natomiast redukcję prędkości, jaka nastąpiła w związku z zastosowaniem strefy uspokojonego ruchu. Dodatkowo w każdym punkcie zastosowano korekcję wynikającą z wpływu strefy na podstawie porównań wykonanych w ramach niniejszego referatu (wartości tych korekcji przedstawia rys. 5 powyżej).



Rys. 6. Wyniki obliczeń akustycznych przy uwzględnieniu i braku uwzględnienia korekcji dotyczącej wpływu strefy ruchu uspokojonego na wielkość poziomu dźwięku.

Analizując wyniki obliczeń akustycznych przedstawionych powyżej można zauważyć, że wprowadzenie strefy ruchu uspokojonego ma bardzo korzystny wpływ na emisję hałasu do środowiska. Redukcja poziomu dźwięku w niektórych przekrojach była większa niż 7 dB. W każdym przypadku poziom hałasu jest zdecydowanie mniejszy niż w hipotetycznej sytuacji, w której nie uwzględniono wpływu strefy ruchu uspokojonego. Jak wspomniano powyżej uspokojenie ruchu jest bardzo korzystne pod kątem ochrony przeciwdźwiękowej terenów, które są narażone na oddziaływanie hałasu o wysokim poziomie dźwięku i dla których zastosowanie innych działań może być bardzo utrudnione lub wręcz niemożliwe.

6. Podsumowanie

W niniejszym opisie wskazano na wpływ zastosowania środków uspokojenia ruchu na bezpieczeństwo użytkowników dróg i mieszkańców terenów zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie tras komunikacyjnych. Na podstawie wyników pomiarów pilotażowych i obliczeń akustycznych wykonanych dla odcinka drogi wojewódzkiej nr 824 w Puławach przedstawiono w jaki sposób wprowadzenie strefy ruchu uspokojonego wpłynęło na poprawę stanu klimatu akustycznego na sąsiadujących terenach. Redukcja poziomu dźwięku w niektórych przekrojach tego odcinka była większa niż 7 dB. Wynik ten należy odnosić do prawidłowo stosowanych środków uspokojenia ruchu oraz z góry przewidywanych efektów związanych z płynnym przejazdem pojazdów – np. do tej pory stosowane progi w kraju są progami podrzutowymi, które mogą być przyczyną zwiększonej emisji hałasu, natomiast w przypadku tej drogi zastosowano progi o płynnym najjeździe i zjeździe o kształcie sinusoidalnym. Uspokojenie ruchu jest zatem bardzo dobrym środkiem powodującym redukcję poziomu hałasu, a dodatkowo może być stosowane w przypadkach, w których realizacja innych działań (np. ekrany akustyczne czy nawierzchnie o obniżonej hałaśliwości) może być bardzo utrudniona lub wręcz niemożliwa (centra miast).

W ramach niniejszych analiz zwrócono również uwagę na rozbieżności pomiędzy wynikami obliczeń i pomiarów wykonanych w tych samych punktach zlokalizowanych w granicach strefy ruchu uspokojonego. Brak weryfikacji wyników obliczeń akustycznych z wynikami pomiarów może prowadzić do sytuacji, w której wyniki obliczeń będą znacznie różniły się w stosunku do rzeczywistości. Dla środków zastosowanych w ciągu drogi wojewódzkiej nr 824 w Puławach oszacowano wartości różnic pomiędzy wynikami pomiarów a obliczeń, które wskazują na brak dopasowania wskazań modelu obliczeniowego do rzeczywistości. Wartości tych różnic nie można natomiast wprost odnosić do innych stref ruchu uspokojonego, dla których redukcja poziomu dźwięku może różnić się od badanego przypadku. Istnienie zatem potrzeba prowadzenia dalszych, bardziej szczegółowych badań w celu oszacowania współczynników korekcyjnych, które będzie można przyjmować kompleksowo w tego typu sytuacjach.

Literatura

- [1] Stan bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce w 2012 roku, Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej Sekretariat Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Warszawa 2013.
- [2] Prędkość pojazdów w Polsce. Raport z badań 2013 wykonany na zlecenie Sekretariatu Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Gdańsk, Kraków, Warszawa, 2014 r.
- [3] Europejska Agencja Środowiska. Środowisko Europy 2010. Stan i prognozy – synteza. Kopenhaga 2010
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku Dz.U. 2012 nr 0 poz. 1109 z dnia 1 października 2012 r.
- [5] Ustawa Prawo ochrony środowiska Dz. U. Nr 62, poz. 627 z dnia 27 kwietnia 2001 roku z późniejszymi zmianami.
- [6] J. Bohatkiewicz, S. Biernacki i inni. *Zasady uspokajania ruchu na drogach za pomocą fizycznych środków technicznych*. Ministerstwo Infrastruktury 2008.
- [7] J. Bohatkiewicz „*Wpływ geometrii, warunków i organizacji ruchu na klimat akustyczny w otoczeniu skrzyżowań*” - praca doktorska. Politechnika Krakowska, Kraków, 2000 r.
- [8] Local Noise Action Plans – Sixth Framework Programme 2008.
- [9] Lars Ellebjerg, Danish Road Institute, *Controlling Traffic Noise through Traffic Management, Results of a literature study in SILENCE WP H1*, Brussels, 2007, opracowanie własne.
- [10] Senior Researcher Hans Bendtsen, Hans Jorgen Ertman Larsen, *Traffic Management and Noise, Road Directorate*, Danish Road Institute, 2007, opracowanie własne.
- [11] www.cohsubdivisions.blogspot.com.
- [12] EKKOM Sp z o.o. Kurs szkoleniowy z zasad uspokojenia ruchu w obszarach zabudowanych na drogach samorządowych - Puławy 2013.
- [13] H Bendtsen i inni SILVIA PROJECT DELIVERABLE - Traffic Management and Noise Reducing Pavements - Recommendations on Additional Noise Reducing Measures.
- [14] Janusz Bohatkiewicz, Sebastian Biernacki, Krzysztof Jamrozik, EKKOM Sp. z o.o. *Wpływ wprowadzenia środków uspokojenia ruchu na hałas komunikacyjny w miastach*. Referat zaprezentowany podczas konferencji TRANSNOISE 2013, Zakopane, 2013.

Impact of traffic calming on acoustic climate in street surrounding

Janusz Bohatkiewicz, Wioleta Czarnecka¹,
Krzysztof Jamrozik, Sebastian Biernacki, Maciej Hałucha²

¹*Katedra Budowy Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: j.bohatkiewicz@pollub.pl, w.czarnecka@pollub.pl*

²*EKKOM Sp. z o.o. , e-mail: krzysztof.jamrozik@ek-kom.pl, sebastian.biernacki@ek-kom.pl,
maciej.halucha@ek-kom.pl*

Abstract: The paper presents the methods to improve safety and quality of life of people living in the neighborhood of roads and the situation of road users by means of traffic calming. The focus is kept on positive impact of traffic calming measures on acoustic climate in the surrounding of roads. The paper also contains the characteristics of selected impacts of road traffic on the environment together with a general outline of traffic calming as an instrument to mitigate the negative influence. Various possibilities to frame the acoustic climate and reduce transport-related inconvenience by means of different traffic calming methods are present as well. Then a case study (regional road No 824 in Puławy) is used to assess the effectiveness of specific solutions of comprehensive traffic calming with regard to speed reduction and abatement of noise emissions. Analyses are based on measurements' results (traffic volumes, driving speeds and noise levels) and on acoustic calculations performed by the authors as part of their own study (internal research & development program of EKKOM). On the basis of measurements' results and calculations the paper also addresses the problem of lack of correction factors related to traffic calming in the calculation model and the one of errors in noise modeling while preparing the case study.

Keywords: Traffic calming, road safety, speed, environmental protection, noise control, noise.