

STAN BADAŃ I ZAŁOŻENIA DO OCENY SYMULACYJNEJ WPLYWU STREFOWEGO USPOKOJENIA RUCHU

Arkadiusz Książek

mgr inż., Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel.: +48 607 880 829, e-mail: arek.ksiazek@gmail.com

***Streszczenie.** Kompleksowo realizowane strefy uspokojenia ruchu pojawiają się w naszym kraju zmieniając oblicze centrów miast i obszarów mieszkaniowych oraz pozwalając na bezpieczne przekraczanie mniejszych miejscowości. Wprowadzane rozwiązania przynoszą szereg korzyści dla całych miast wpisując się w ramy strategii zrównoważonego rozwoju. Jednak, aby właściwie wykorzystać możliwości, które daje spójna koncepcja uspokojenia ruchu należy zadbać o odpowiednie przygotowanie inwestycji. Wprowadzenie uspokojenia ruchu powinno przynieść jak najlepsze rezultaty w kwestii poprawy bezpieczeństwa i jakości życia, zmniejszenia natężeń ruchu oraz powinno uzyskać wysoki poziom akceptacji społecznej. Artykuł zawiera przegląd badań na temat oceny wpływu i efektywności rozwiązań strefowego uspokojenia ruchu. Przedstawiona została propozycja podejścia do procesu modelowania stref ruchu uspokojonego w ujęciu symulacyjnym. Wpływu pojedynczych środków badany na poziomie mikrosymulacji pozwala na przejście do oceny funkcjonowania całego układu transportowego w skali makro. Dzięki temu można zaplanować właściwą obsługę komunikacyjną danego obszaru, ograniczyć tworzenie oraz migrację zatłoczeń na inne odcinki sieci a także dokonać oceny efektywności funkcjonalnej rozwiązań.*

Słowa kluczowe: uspokojenie ruchu, modelowanie ruchu, symulator ruchu drogowego

1. Wprowadzenie

Wzrastające zainteresowanie rozwiązaniami z zakresu uspokojenia ruchu, które można zaobserwować w naszym kraju, skłania do poszukiwania właściwego podejścia do procesu planowania, projektowania, wdrażania oraz oceny koncepcji ruchu uspokojonego. Poszukiwania te wspierane są również przez Ministerstwo Infrastruktury poprzez Program Uspokojenia Ruchu [57]. Celem programu było opracowanie przewodnika do uspokojenia ruchu, finansowanie wdrożeń propagowanych rozwiązań oraz pomoc w zakresie szkoleń z uspokojenia ruchu dla zarządców dróg. Przewodnik „Zasady uspokajania ruchu na drogach za pomocą fizycznych środków technicznych” [53] zawiera kompleksowy opis założeń uspokajania oraz uwarunkowania wdrażania rozwiązań o ruchu uspokojonym. Wskazuje również działania, które sprzyjają wprowadzaniu uspokojenia ruchu:

- Oddanie do użytku obwodnicy lub drogi alternatywnej, które pozwala na wprowadzenie ruchu tranzytowego z dróg przechodzących przez centra miejscowości.
- Programy rewitalizacji obszarów miejskich, które dzięki wprowadzanym przekształceniom pozwalają poprawić jakość przestrzeni publicznej, co jest jednym z celów uspokojenia ruchu.
- Planowanie i realizacja nowych obszarów zabudowy, dzięki którym już od początków funkcjonowania można nadać odpowiednią, hierarchiczną strukturę sieci ulic.

Przedstawione przypadki wskazują na zróżnicowanie możliwych zastosowań uspokojenia ruchu w kontekście obszaru jego oddziaływania.

2. Aspekty przestrzenne funkcjonowania uspokojenia ruchu

O'Brien [52] definiuje trzy skale przestrzenne oddziaływania uspokojenia ruchu:

- I – skala lokalna, działania miejscowe, gdzie natężenie ruchu i przepustowości nie są istotne,
- II – ograniczenia prędkości i zmniejszenie oddziaływań w korytarzu, gdzie liczą się warunki ruchu na nim, ale pomijane są przepustowości i poziom obsługi w całej sieci
- III – działania w skali makro, które ograniczają ruch w dużej skali i oddziałują na natężenia i warunki ruchu w skali całego miasta bądź aglomeracji.

Odmienne skale oddziaływań uspokojenia ruchu wymagają innego zdefiniowania celów, dla których jest ono stosowane. Zalewski [60] wskazuje cel generalny uspokojenia ruchu jako uporządkowanie i stworzenie warunków do osiągnięcia consensusu między komunikacyjnym sposobem obsługi obszaru, a jego podstawowymi funkcjami i charakterem użytkowym, kulturowym i ekologicznym. Do celów cząstkowych należy poprawa bezpieczeństwa ruchu, kontrola dostępności, ograniczenie uciążliwości ruchu drogowego i negatywnego wpływu na środowisko oraz przywrócenie funkcji społecznej przestrzeni publicznych. W zależności od skali przestrzennej akcenty wśród przytoczonych celów rozkładane są w różny sposób. W tej samej publikacji Zalewski wymienia także między innymi przywrócenie ulicom charakteru wnętrza wielofunkcyjnego, poprawę warunków środowiskowych, zmianę sposobu obsługi komunikacyjnej oraz poprawę bezpieczeństwa ruchu jako głównych celów uspokojenia obszarowego. W przypadku dróg tranzytowych przechodzących przez mniejsze miejscowości kluczowa jest redukcja prędkości możliwa poprzez zwrócenie uwagi na zmianę specyfiki otoczenia drogi. Jej skutkiem jest poprawa bezpieczeństwa, a także poprawa estetyki miejscowości i warunków środowiskowych i mieszkaniowych.

Decyzja o zastosowaniu uspokojenia ruchu oraz dobór metod i środków wprowadzania restrykcji musi być dostosowana do uwarunkowań miejscowych. Jednym z zastrzeżeń jest wielkość natężenia ruchu, przy którym mogą zostać zastoso-

wane budowlane środki uspokojenia ruchu. Dane z licznych regulacji i podręczników z krajów zachodnich zostały zebrane przez Zalewskiego [60]. Dopuszczalne wartości zależą od celów uspokojenia, charakteru ulicy i rodzaju zastosowanych środków. Ograniczenia te wskazują na konieczność wykonania prognoz ruchu na obszarze objętym uspokojeniem. Prognozy powinny uwzględniać zmiany, jakie mogą wywołać wprowadzane restrykcje. Aby to określić należy zbadać jak na warunki ruchu oddziałują poszczególne elementy uspokojenia ruchu. Na ciągach uspokojonych przechodzących przez miejscowości niezbędne jest określenie przepustowości takiego ciągu i możliwe prognozowanie prędkości, które wystąpią po wprowadzeniu zmian. Na większych obszarach uspokojenia ruchu wyznaczyć należy przepustowości odcinków sieci oraz zastosowanych rozwiązań skrzyżowań. Zaplanowanie charakterystyki uspokojonego układu drogowego umożliwia dostosowanie koncepcji pod względem wielkości obsługiwanego ruchu.

3. Stosowane podejścia do oceny funkcjonowania stref ruchu uspokojonego

W ocenach stref uspokojenia ruchu funkcjonujących w większych skalach przestrzennych dominuje szerokie i kompleksowe podejście pozwalające zwrócić uwagę na większość aspektów, na które wpływa uspokojenie ruchu. Opracowania różnią się zestawem informacji o efektach wprowadzenia koncepcji uspokojonego ruchu wynikających z zakresu przeprowadzanych badań na temat wpływu. Można jednak wyróżnić analizy z bardzo bogatym zestawem danych o wpływie na funkcjonowanie układu drogowego, zmianach obciążenia ruchem, zmianach w podziale zadań przewozowych, poprawie bezpieczeństwa ruchu oraz kwantyfikacji efektów środowiskowych, przestrzennych, społecznych i ekonomicznych.

W warunkach krajowych najlepszym przykładem przemyślanej i konsekwentnie wdrażanej koncepcji uspokojenia ruchu na obszarze miasta jest Kraków. Publikacja [54] opisuje cały proces rozwoju idei ograniczania ruchu w śródmieściu Krakowa począwszy od wyłączenia z ogólnodostępnego ruchu samochodowego Rynku Głównego w latach 70-tych ubiegłego wieku. Pierwsze kompleksowe rozwiązania zostały wprowadzone w 1988 roku i polegały na ustanowieniu trzech stref o zróżnicowanej dostępności: strefy A ruchu pieszego, strefy B o ruchu ograniczonym i strefy C z ograniczonym postojem. Skutki tych działań zostały gruntownie przeanalizowane i opisane w [50] oraz zebrane także w [54]. Badania obejmowały swoim zakresem zmiany w ilości pojazdów wjeżdżających na teren Starego Miasta, zmiany obciążenia ruchem ulic objętych uspokojeniem, sąsiadujących oraz podstawowych dla układu drogowego miasta. Przyjrzano się również funkcjonowaniu komunikacji zbiorowej, zmianie poziomu wypadkowości oraz jakości powietrza i zmianom w emisji hałasu komunikacyjnego. W kontekście wdrażania oraz oceny uspokojenia ruchu zwrócić należy również uwagę na istotne badania poziomu akceptacji społecznej wprowadzanych rozwiązań.

W innych dużych miastach, takich jak na przykład Gdańsk, Poznań, Wrocław, czy Warszawa, które stopniowo ograniczają ruch w centrach, a także zaczynają w ostatnich latach na dużą skalę wprowadzać tzw. strefy Tempo 30 brak jest opracowań pozwalających ocenić efektywność wdrażanych rozwiązań oraz zakres ich oddziaływania. Ma na to również wpływ brak kompleksowego podejścia do funkcjonowania układu drogowego i całego systemu transportowego miasta w warunkach uspokojonego ruchu. Wspomniane strefy Tempo 30 realizowane w obszarach śródmieścia, a także na osiedlach mieszkaniowych również zasługują na szczegółowe analizy efektywności. W warunkach krajowych brakuje jednak publikacji, które przedstawiałyby wyniki takich badań. Przykładem mogłyby być badania opisane w [60] wykonane przy okazji wprowadzenia uspokojenia ruchu w warszawskiej dzielnicy Bielany. Analizie poddane zostały tutaj prędkości przejazdów na drogach objętych uspokojeniem i wpływ budowlanych środków na te prędkości. Ważnym elementem były również badania ankietowe percepcji zastosowanych środków i preferencji odnośnie kolejnych elementów uspokojenia ruchu. Niestety badanie nie uwzględniło możliwego wpływu zmian na natężenia ruchu na ulicach osiedla, występowania na nich ruchu tranzytowego przez osiedle, a badania ankietowe mogły również zawierać informacje o zachowaniach komunikacyjnych mieszkańców. Autor publikacji [60] przytacza również inne badania funkcjonowania uspokojenia ruchu, opisane w sposób kompleksowy. W przypadku zastosowania uspokojenia ruchu na przejeździe przez miejscowość Kobylnica Słupska mamy do czynienia z mniejszą skalą przestrzenną. Doświadczenia przy wdrażaniu tego rozwiązania opisane również w [59] zostały wykorzystane do przygotowania kompleksowej oceny funkcjonalnej. Wprowadzenie środków uspokojenia ruchu oceniono pod kątem skuteczności obniżenia prędkości przejazdu oraz warunków ruchu zarówno pojazdów, jak i niezmotoryzowanych użytkowników drogi. Analizy objęły również aspekt społeczno-ekonomiczny, przestrzenny i środowiskowy. Autor zwraca uwagę na konieczność wszechstronnych analiz funkcjonowania tego rodzaju uspokojień ruchu w warunkach krajowych.

Innym przykładem nowatorskiego oraz kompleksowego podejścia do uspokojenia ruchu jest tzw. „Miasteczko Holenderskie” zrealizowane na obszarze miasta Puławy i tamtejszej dzielnicy Włostowice. Jednym z założeń projektu było stworzenie obszaru wzorcowego w zakresie uspokojenia ruchu. Proces wdrożenia koncepcji był w tym projekcie zrealizowany perfekcyjnie, z uwzględnieniem partycypacji społecznej i dostosowaniem holenderskich rozwiązań do polskich warunków. Doświadczenia z tej realizacji są wykorzystywane w praktyce między innymi poprzez cykl szkoleń z zasad uspokojenia ruchu dla samorządowców. Brakuje natomiast ogólnodostępnych kompleksowych badań i publikacji na temat funkcjonowania i efektów sieciowych zastosowanych rozwiązań spójnej koncepcji uspokojenia ruchu.

Studia literatury zagranicznej ukazują mnogość badań realizowanych na wielu przykładach wdrożeń obszarowego uspokojenia ruchu. Z racji tego, że idea ruchu uspokojonego obecna jest w zachodnich miastach od kilkadziesiąt lat dostępnych jest wiele obszernych i wieloaspektowych analiz funkcjonowania stref uspokojenia

ruchu. Przykładem opisu rozwiązań stosowania uspokojenia ruchu na obszarach miast europejskich jest artykuł [51], który opisuje doświadczenia Zurychu, Wiednia i Monachium w zakresie uspokajania ruchu. Zbiornicze oceny funkcjonowania brytyjskich dużej liczby stref 20 mph w Wielkiej Brytanii zostały zebrane w [48] i [44]. Inne dane brytyjskie wraz z ocenami niemieckich stref Tempo 30 oraz doświadczeń austriackiego Grazu zostały zebrane w [47], gdzie nacisk położony jest na wpływ na obniżenie prędkości oraz poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego. Bogatym zbiorem danych na temat wpływu stref uspokojenia ruchu na wypadkowość jest także pozycja [18]. Efektywność kompleksowych rozwiązań nie tylko w kontekście bezpieczeństwa ruchu, ale też poprzez wpływ na natężenia ruchu i możliwe migracje wypadków została poddana analizie w [37]. Dane z zastosowań brytyjskich, niemieckich i holenderskich można również znaleźć w [11]. Duża liczba danych amerykańskich i opis efektów wprowadzania środków uspokojenia ruchu na prędkości, natężenia, poziom wypadkowości, jakość życia mieszkańców etc. zebrana jest w podręczniku [28]. Oceny kompleksowo funkcjonujących stref i obszarów uspokojonych pozwalają uchwycić efekt synergii, który pojawia się w takich zastosowaniach. Na ten fakt zwraca również uwagę Zalewski [60] wymieniając rozmaite pozytywne efekty cząstkowe oraz opisując trudno mierzalne parametry, które powodują, że uspokojenie ruchu jest tak szeroko stosowane we współczesnych miastach.

Badania, które wyszczególniają odosobnione wpływy poszczególnych środków uspokojenia ruchu pozwalają z kolei na usprawnienie procesu wdrażania i oceny a priori możliwych efektów planowanej koncepcji uspokojenia ruchu. O konieczności zwrócenia uwagi na proces implementacji uspokojenia ruchu przypomina autor [60] przytaczając również bogaty zestaw doświadczeń międzynarodowych. W przygotowanych na zlecenie Ministerstwa Infrastruktury „Zasadach uspokojenia ruchu na drogach za pomocą fizycznych środków technicznych” [53] opisany jest cały proces wdrażania uspokojenia ruchu, wraz ze sposobem zaangażowania społeczności lokalnej. Zakres opracowania umożliwiającego właściwe przygotowanie projektu można znaleźć w [56]. Zawarto w nim informacje o funkcjonowaniu układu transportowego, warunkach ruchu i o przepustowości elementów sieci drogowej. Podobnie wygląda proces wdrażania opisany w [55] dla projektantów brytyjskich, czy też holenderskich [58].

Zebrane dane z badań wpływu poszczególnych środków uspokojenia ruchu na zmianę prędkości, natężeń ruchu i liczby wypadków można znaleźć w [29]. Kwantyfikacji wpływów rozwiązań ruchu uspokojonego dokonano w [45], gdzie określono koszty i korzyści ze względu na wpływ między innymi na poprawę bezpieczeństwa ruchu, jakości powietrza i poziomu hałasu, zmiany zachowań komunikacyjnych, wzrostu cen nieruchomości, wzmocnienia więzi społecznych i zmniejszenia zjawiska rozlewania się miast. Zestawienie badań na temat efektywności poszczególnych środków uspokojenia ruchu znalazło się w [54]. Wiele artykułów rozważa również wpływy poszczególnych i zebranych środków uspokojenia ruchu w rozbiciu na aspekt oddziaływania koncepcji. Publikacje [35,37,16] skupiają się na korzyściach związanych z poprawą bezpieczeństwa ruchu drogowego. Autorzy

[46,1] prezentują dane na temat wpływu na poziom emisji zanieczyszczeń i poziom hałasu komunikacyjnego.

4. Ujęcie rozwiązań uspokojenia w modelowaniu ruchu

Podstawowym narzędziem służącym do oceny efektów sieciowych są makroskopowe modele ruchu. Pozwalają one na prognozowanie wpływu zmian w sieci ulic na funkcjonowanie układu komunikacyjnego. Takie elementy koncepcji uspokojenia ruchu jak wyłączenie części ulic, wprowadzanie układu ulic jednokierunkowych, czy zamknięcie pewnych relacji mogą być w łatwy sposób reprezentowane w modelach makroskopowych. Analizy teoretyczne funkcjonowania układu drogowego dla różnych wariantów przekształcenia sieci opisał Dudek [26], a Zalewski [60] przytacza je w swojej publikacji właśnie w kontekście uspokojenia ruchu. Również w [60] opisano użycie oprogramowania symulacyjnego do oceny przekształceń układu drogowego w Chełmie Lubelskim i w Białej Podlaskiej. Do użycia technik modelowania do ewaluacji wpływu uspokojenia ruchu przekonuje się także w [28]. Autor zwraca uwagę na niedostateczną skuteczność analiz statystycznych oraz wykorzystania badań „przed i po” do oceny możliwych wpływów nowych inwestycji. W publikacji tej możemy również znaleźć informacje o wpływach na natężenia ruchu, które mogą mieć budowlane środki uspokojenia ruchu. Oczywisty wpływ mają środki kontroli natężeń ruchu, a więc całkowite i częściowe zamknięcia ulic i wyłączenia relacji skrzyżowaniach. Środki kontroli prędkości zmniejszając prędkość pojazdów wpływają na czas przejazdu odcinka. Stąd operowanie czasami podróży w procedurze wyboru ścieżki i w podziale zadań przewozowych w modelu czterostopniowym pozwala oceniać wpływ budowlanych środków na te elementy przy pomocy czasu przejazdu właśnie. Próby zastosowania takiego podejścia zostały przedstawione przez autora niniejszej publikacji w [41] i poszerzone w [42]. Wydłużanie czasu przejazdu w wyniku zastosowania środków uspokojenia ruchu zostało również zastosowane w [49], [33] i [17]. Badania w [49] objęły duży wachlarz środków uspokojenia ruchu zarówno z zakresu wygięć toru jazdy, wyniesień powierzchni czy też miejscowych zamknięć. Sieć ulic z zastosowanymi elementami przedstawiono w programie TrafikPlan, a wyniki analiz rozkładu ruchu porównano z zaobserwowanymi w rzeczywistości. Gardes [33] opisał analizy porównawcze z wykorzystaniem programu Paramics dla dwóch alternatywnych dróg. Na jednej z nich zastosowano elementy uspokojenia ruchu, a następnie porównano obciążenie ruchem obu odcinków. Autorzy [17] porównali wykorzystanie programów CONTRAM oraz TrafikPlan do oceny stref uspokojenia ruchu. Sprawdzone czy zastosowane modele będą potrafiły odwzorować wpływ progów zwalniających i wyniesień na funkcjonowanie sieci ulic. Analizy dla różnych scenariuszy i różnych wariantów popytu wykazały ograniczenie efektu „przebiegów szczone”, czyli użycia dróg lokalnych w podróżach tranzytowych. W publikacji

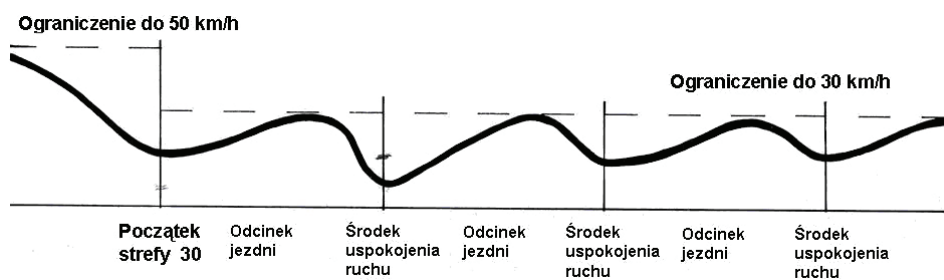
tej opisano dodatkowo badania, w których ustalono, że kierowcy postrzegają czas tracony z powodu zastosowania środków uspokojenia ruchu jako dłuższy od faktycznego. Może to wpłynąć dodatkowo na wybór ścieżki czy nawet popyt na podróże. O percepcji stosowanych restrykcji pisze również Crane [25], który porównując wpływ trzech elementów projektowych (ramowy układ drogowy, elementy uspokojenia ruchu oraz mieszany charakter zagospodarowania przestrzennego) wykazał, że jedynym elementem mogącym przyczynić się do zmniejszenia liczby podróży jest zastosowanie narzędzi uspokojenia ruchu.

Opisane przykłady wskazują, że ujęcie strefowego uspokojenia ruchu w modelach makrosymulacyjnych może być pożądanym krokiem. Zakładane analizy pozwolą na ocenę obszarowego uspokojenia w kontekście funkcjonowania układu transportowego wraz ze zbadaniem wpływu na podział zadań przewozowych, wybór ścieżki ruchu, a przez to na występujące na ulicach sieci miejskiej natężenia. Prezentowane badania wpływu efektów sieciowych wskazują, że aby właściwie przedstawić wpływ budowlanych środków uspokojenia ruchu konieczne są szczegółowe badania prędkości i czasów przejazdu.

5. Badania oddziaływań poszczególnych środków uspokojenia ruchu

5.1. *Badania terenowe*

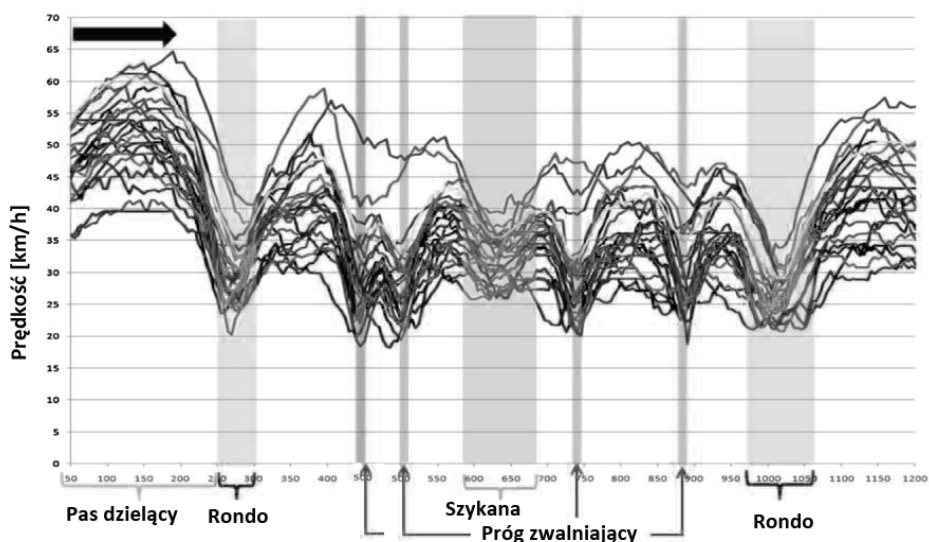
Badania wpływu poszczególnych środków uspokojenia ruchu na prędkości przejazdu znaleźć można w większości wspomnianych wyżej publikacji dotyczących oceny rozwiązań uspokojenia ruchu. Do oceny stosuje się wartości prędkości średnich oraz kwantyle 85% zmierzonych wartości i porównuje się je z sytuacją przed ich wprowadzeniem. Dla różnych rodzajów środków budowlanych przeprowadzane są badania czasów przejazdu i zachowań kierowców przy przejazdach. Johnson i in. [40] zbadali zachowania na progach poprzecznych, wyspowych i poduszkach zwalniających. Bogaty zestaw danych na temat efektów wprowadzenia progów wyspowych zawiera również [43]. Większy wachlarz środków, w tym zawężenia na skrzyżowaniach z naciskiem na zbadanie zachowań kierowców znaleźć można w [24]. Efekt oddziaływania na czasy przejazdu podnoszony jest również przy okazji określania wpływu na dojazd pojazdów służb ratunkowych. Badania takie, które znaleźć można w [19] oraz [22] zawierają dane na temat wpływu różnych środków dla różnych pojazdów służb ratunkowych. Zwracają one uwagę, że kluczowym jest zaprojektowanie rozwiązań uspokojenia ruchu wymuszających żadaną prędkość przejazdu, ale o możliwie łagodnym przebiegu profilu tej prędkości. W tym aspekcie należy przytoczyć za autorami [53] rysunek 1, który przedstawia profil prędkości wzdłuż uspokojonej ulicy. Kluczowym dla skutecznego dostosowania prędkości do ograniczeń jest odpowiedni dobór środków uspokojenia ruchu i odstępów pomiędzy nimi.



Rys. 1. Profil prędkości na odcinku objętym uspokojeniem ruchu
 Źródło: [53]

Wpływ rodzajów zastosowanych środków i ich rozstawu został zbadany przez autorów [31]. Badania w terenie przy użyciu technologii GPS pozwoliły zbadać profile prędkości na odcinkach istniejących ulic z uspokojeniem ruchu. Posłużyło to do kalibracji i weryfikacji modelu mikrosymulacyjnego, w którym zbadano różne scenariusze zastosowania środków uspokojenia ruchu i odstępów między nimi. Zmiany zastosowanego w modelach popytu umożliwiły ocenę przepustowości stosowanych rozwiązań. Precyzyjnie wyznaczone profile prędkości pozwalają na dostosowanie zachowań kierowców na obszarze uspokojonym, a obliczone przepustowości umożliwiają skuteczne planowanie strefy uspokojenia ruchu i ujęcie ulic uspokojonych w modelach makrosymulacyjnych. Wyznaczenie profilu prędkości poprzez model matematyczny zostało przeprowadzone przez Barbozę i in. [12]. Autorzy przygotowali wzór pozwalający określić prędkość pojazdu w dowolnym miejscu wzdłuż uspokojonej drogi jako funkcję prędkości wejściowej, odległości od poprzedzającego oraz do następnego środka uspokojenia ruchu oraz rodzaju tego środka. Dla każdego z tych środków określono również zakres jego oddziaływania na prędkości pojazdów. Badania terenowe określające profile prędkości na drogach z uspokojeniem ruchu zostały użyte przez autorów [32] do analiz bezpieczeństwa ruchu. Zwrócono tutaj uwagę na konieczność dostosowania przepustowości rozwiązań uspokojenia ruchu do natężeń ruchu na drogach przechodzących przez mniejsze miejscowości oraz konieczność oceny uspokojenia pod kątem możliwie jednostajnego profilu prędkości. Badania pozwoliły określić optymalny rozstaw stosowanych środków ze względu na bezpieczeństwo ruchu.

Doświadczenia zebrane w opisanych analizach zwracają uwagę na zasadność wykorzystania śledzenia GPS w badaniach środków uspokojenia ruchu. Rejestracja profili prędkości w rzeczywistych warunkach pozwala na precyzyjne określenie wpływu poszczególnych elementów. Zakładane badania przeprowadzone dla szerokiej gamy fizycznych środków technicznych powinny być przeprowadzone na próbie o wystarczającej liczebności. Przytoczone przykłady ukazują możliwość wyznaczenia ogólnych zależności pomiędzy występowaniem poszczególnych środków uspokojenia ruchu, a charakterystyką zachowania się kierowców.



Rys.2. Przykład rzeczywistych profili prędkości wyznaczonych w terenie z wykorzystaniem śledzenia GPS
Źródło: [31]

5.2. Badania emisji zanieczyszczeń

Kolejnym argumentem za ograniczeniem częstych i gwałtownych przyspieszeń i zwolnień jest kwestia akustyczna oraz emisji zanieczyszczeń. Zwrócili na to uwagę Bohatkiewicz i in. [15] w kontekście ochrony przed nadmiernym hałasem. Usytuowanie elementów uspokojenia ruchu powodujące gwałtowne manewry hamowania i przyspieszania nie przystaje do prawdziwego uspokojenia, które powinno powodować bezpieczny i w miarę jednostajny przejazd na całym odcinku. W artykule tym został również opisany przykład analizy akustycznej ulicy z ruchem o charakterze międzyosiedlowym na krakowskim Kurdwanowie, na której zaplanowano wprowadzenie fizycznych środków uspokojenia ruchu.

Ahn i Raka [2] zbadali wpływ przejazdów przez obszar uspokojony na emisje i zużycie paliwa. Dla progów zwalniających i małych rond przeprowadzili badania profilów prędkości i przy użyciu modelu obliczeń emisji określili wpływ zachowań kierowców na zanieczyszczenie powietrza. Analizy wpływu zastosowania środków uspokojenia ruchu na jakość powietrza były również badane przez Boultera i Ainige [3] oraz Ghafghazi i Hatzopoulou [36].

5.3. Użycie oprogramowania mikrosymulacyjnego

W publikacji [36] emisje zanieczyszczeń zostały ocenione zarówno w skali mikro jak i makro. Zidentyfikowano efekty funkcjonowania uspokojenia ruchu w obrębie uspokojonego odcinka oraz całej sieci obszaru uspokojonego dla różnych scenariuszy zastosowanych koncepcji. Takie podejście, pozwalające określić efekt

sieciowy wyróżnia te badania na tle poprzednich, na co również zwracają uwagę autorzy. Aby określić wpływ na zmianę wyboru ścieżki przygotowano więźby ruchu dla analizowanego obszaru i przygotowano model o skali, którą można by określić jako mezoskopową. Z modelu metropolitalnego miasta Montreal wzięto dane na temat podróży przez obszar objęty uspokojeniem ruchu i dla tego obszaru przygotowano duży model w mikrosymulacyjnym programie PTV VISSIM. Rozkład ruchu został wykonany przy użyciu funkcji DTA (DynamicTrafficAssignment), czyli w sposób dynamiczny. Umożliwiło to bardzo dokładną reprezentację efektów zastosowania ograniczeń związanych z uspokojeniem ruchu. Spowodowało jednak bardzo duże obciążenie procesem obliczeniowym, co wymagało przeprowadzenia długotrwałych symulacji dla każdego scenariusza. Wpływy poszczególnych środków zostały ujęte w postaci różnych ograniczeń prędkości na bardzo krótkich odcinkach. Wartości ograniczeń oraz długości odcinków o zredukowanej prędkości nie zostały dostosowane po wykonaniu badań, a jedynie przyjęte z góry przez autorów. Wyniki symulacji posłużyły w module emisji do obliczeń zmian zanieczyszczenia powietrza. Jako parametry oceny poszczególnych scenariuszy wybrano pracę przewozową w pojazdokilometrach i wartość całkowitej emisji w skali sieci oraz zmianę poziomu emisji w skali odcinka.

W celu zwiększenia miarodajności badania opisanego powyżej konieczne są badania dokładnego efektu oddziaływania środków uspokojenia ruchu. Taka procedura została opisana w [21]. Przygotowano tutaj dane o profilach prędkości dla szycan oraz progów poprzecznych i wyspowych na podstawie przejazdów testowych z użyciem odbiorników GPS. Profile te zostały porównane z danymi uzyskanymi przez zastosowanie odcinków ograniczonej prędkości w programie VISSIM. W ten sposób udało się określić długość oraz wartości ograniczeń możliwych do zastosowania.

Planowane badania wpływu poszczególnych środków uspokojenia ruchu zakładają wykorzystanie wyznaczonych w warunkach rzeczywistych profili prędkości w badaniach z użyciem oprogramowania mikrosymulacyjnego. Określenie oddziaływania elementów uspokojenia ruchu na zachowania kierowców pozwoli na właściwą ich reprezentację w programie mikrosymulacyjnym. Może to również posłużyć do zwiększenia funkcjonalności oprogramowania o możliwość automatycznego dodania środków budowlanych o określonych parametrach z możliwością ich dostosowania do warunków lokalnych. Przy odpowiedniej kalibracji modelu w skali mikro będzie można uzyskać wiarygodne wyniki określające parametry funkcjonowania ulicy bądź wycinka sieci uspokozonej.

6. Użycie symulatora ruchu

Czasochłonność oraz kosztowność badań, a także duża różnorodność stosowanych środków uspokojenia ruchu powoduje zwrócenie uwagi na możliwość użycia symulatora ruchu do oceny wpływu różnych zastosowań na zachowania kie-

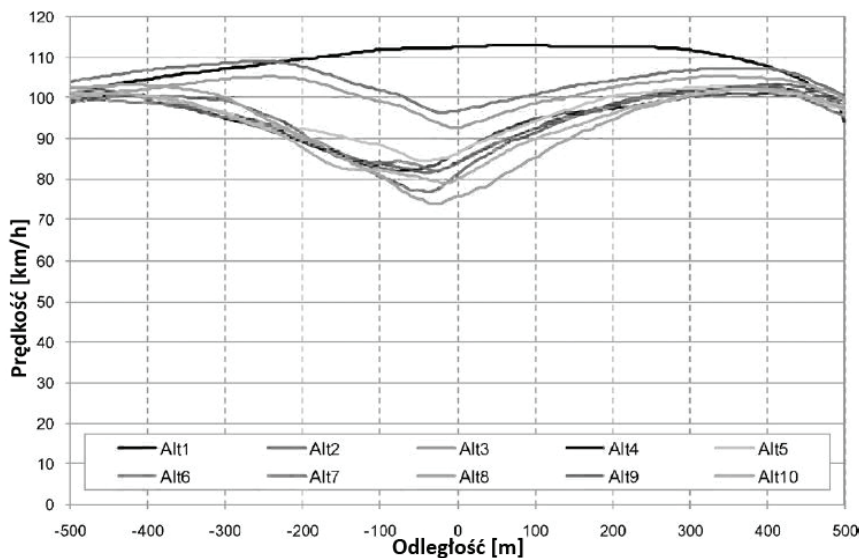
rowców. Symulatory samochodów osobowych stosowane są w wielu światowych ośrodkach naukowych do badania parametrów jazdy i zachowań kierowców oraz wpływu infrastruktury. Symulator pozwala na wykonywanie testów w kontrolowanych warunkach ruchu i otoczenia, bez wpływu czynników mogących zakłócić przeprowadzanie eksperymentu. Bella [13] opisując zalety użycia symulatora wymienia skuteczność, niski koszt, bezpieczeństwo prowadzenia eksperymentu, kontrolę nad jego warunkami oraz łatwość zbierania danych. Zwraca jednak uwagę na konieczność weryfikacji funkcjonowania symulatora w porównaniu z badaniami terenowymi.

W literaturze znaleźć można wiele badań z wykorzystaniem symulatora pozwalających na ocenę wpływu infrastruktury i otoczenia na zachowania kierowców. Publikacja [4], podobnie jak [14] opisują badania efektów zmian krajobrazu na kierującego. Wpływ parkowania przy jezdni w środowisku miejskim został poddany ocenie w symulatorze ruchu przez Edquista i in. [27]. W artykule [20] opisano różne warianty oznakowania łuków poziomych, natomiast w [10] łuków pionowych i ich wpływy na prędkości oraz na prowadzenie pojazdu.

Różne warianty oznakowania mogą mieć postać elementów uspokojenia ruchu, stąd użycie symulatora do oceny bramowych elementów stosowanych przy wjeździe do obszaru uspokojonego opisane w [8] i [9]. W pierwszej z tych publikacji opisane również zostały parametry, które mogą posłużyć do zbadania zmian w sposobie prowadzenia pojazdu. Poza standardowymi profilami prędkości wprowadzono wyznaczenie odchyłeń bocznych pozycji pojazdu oraz odchyłeń wzdłużnych przyspieszania i zwalniania. Kolejna publikacja [30] oprócz elementów bramowych opisuje także różne rodzaje oznakowania poziomego oraz wygięcia toru jazdy. Autorzy planują wdrożenie przebadanych elementów i porównanie wyników uzyskanych w symulatorze z rzeczywistymi zaobserwowanymi po zastosowaniu projektowanych środków. Poszerzone wyniki badań z większą ilością rozwiązań przedstawiono również w [5]. Inny zestaw środków, tym razem przy dojazdach do skrzyżowań został poddany ocenie w [6] i [7]. Zastosowano różne warianty oznakowania poziomego, zmiany kolorów nawierzchni oraz pasów dzielących i wysp środkowych. Wyniki zawierają porównania profili prędkości, a także analizy zmienności pozycji pojazdu na drodze.

Molino i in. [38] użyli symulatora w szerszym zakresie osobno w badaniach środków poprawy bezpieczeństwa ruchu na łukach oraz szykan i zawężeń na skrzyżowaniach stosowanych w uspokojeniu ruchu na obszarach miejskich. Bardzo obszerny zestaw środków uspokojenia ruchu w postaci oznakowań poziomych i pionowych oraz wysp azylu badany był w symulatorze Uniwersytetu w Leeds, co opisano w [39]. Raport [23] opisujący efektywność strategii uspokojenia ruchu na prędkości i natężenia ruchu zawiera dużą ilość danych na temat wpływu środków uspokojenia ruchu wyznaczonych na podstawie badań terenowych oraz porównania z badaniami przy użyciu symulatora. Konfrontacja tych badań wykazała dużą zgodność wyników i przekonuje o korzyściach z wykorzystania symulatora, dzięki któremu można było otrzymać znacznie szerszy zestaw parametrów i z którego uzyskano wyniki o mniejszej zmienności. Do środowiska symulatora wprowadzo-

no takie elementy jak zawężenia, wyspy środkowe, pasy dzielące i modyfikacje oznakowania poziomego. Ze względu na ograniczenia zastosowanego symulatora nie można było przetestować wpływu środków oddziałujących na prędkość swoją wypukłością, takich jak progi zwalniające. Współczesne symulatory potrafią jednak reprezentować reakcje pojazdu na tego typu środki, co pozwala mieć nadzieję na wykorzystanie ich również do takich badań.



Rys.3. Przykład profili prędkości dla różnych scenariuszy z zastosowaniem środków uspokojenia ruchu przy dojeździe do skrzyżowania

Źródło: {7}

Możliwość użycia symulatora ruchu pozwala liczyć na przeprowadzenie badań dla wielu różnych środków uspokojenia ruchu. Badania te mogą objąć bardzo dużą liczbę przejazdów w identycznych warunkach i w przygotowanym do tego celu środowisku. Oprogramowanie symulatora pozwoli również na zebranie wielu parametrów przydatnych do opisanie zmienności zachowań kierowców oraz określenia oddziaływania uspokojenia ruchu na warunki przejazdu. Dane te mogą posłużyć do kalibracji modeli i właściwej reprezentacji środków uspokojenia ruchu w ujęciu symulacyjnym.

7. Podsumowanie

Przedstawione studia literatury w kwestii oceny środków i stref uspokojenia ruchu pozwalają sformułować założenia do badań koniecznych do ujęcia tej strategii w modelach symulacyjnych. Przykłady analiz funkcjonowania stref uspokojenia ruchu wskazują na duże zróżnicowanie możliwych efektów w postaci zmian obciążenia ruchem. W celu właściwego ich prognozowania oraz oszacowania wpływu na

funkcjonowanie układu komunikacyjnego niezbędne jest ujęcie rozwiązań uspokojenia ruchu w modelach makroskopowych. Odpowiednia reprezentacja środków możliwa jest tylko po dokładnych badaniach oddziaływania poszczególnych elementów w mniejszej skali. Duża różnorodność możliwych do zastosowania środków uspokojenia ruchu powoduje znaczną rozbieżność efektów opisaną w licznych badaniach. Dodatkowym czynnikiem mogą być także lokalne uwarunkowania i wpływ zachowań kierowców w polskich warunkach. Ukazuje to konieczność wykonania eksperymentów dla możliwie szerokiego wachlarza fizycznych środków technicznych. Najbardziej efektywna i miarodajna będzie kombinacja badań terenowych oraz z użyciem symulatora ruchu. Pozwoli to zarówno ominąć ograniczenia symulatora, jak i zapewnić wiarygodność otrzymanych rezultatów. Badania te umożliwią właściwą reprezentację elementów uspokojenia ruchu w skali makroskopowej. W tych warunkach będzie można określić przepustowości i warunki ruchu na odcinkach ulic oraz w obrębie uspokojonego wycinka sieci. Pozwoli to również na takie zaplanowanie koncepcji strefy uspokojenia ruchu, aby dostosować przepustowość skrzyżowań i odcinków do wartości pożądaných przez projektanta. Po ustaleniu parametrów elementów sieci uspokojonej będzie możliwe przeniesienie analiz do skali makro i wykorzystanie do zbadania wpływu na podział zadań przewozowych, wybór ścieżki ruchu, a przez to na występujące na ulicach sieci miejskiej natężenia. Stworzenie narzędzia do oceny symulacyjnej funkcjonowania stref uspokojenia ruchu pozwoli na usprawnienie procesu planowania i wdrażania koncepcji z prognozowaniem wpływu na obciążenie ruchem, poprawę bezpieczeństwa ruchu oraz hałas komunikacyjny i emisję zanieczyszczeń. Możliwe będzie uniknięcie ewentualnych negatywnych zjawisk migracji natężeń, wypadków oraz wzrostu zanieczyszczenia powietrza.

Bibliografia

- [1] Abbot P., Layfield R., Taylor M., The effects of traffic calming measures on vehicle and traffic noise. TRL 1997.
- [2] Ahn K., Rakha H., A field evaluation case study of the environmental and energy impacts of traffic calming. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 14, Issue 6, 2009.
- [3] Ainge M., Boutler P. G., Latham S., Driving cycles for measuring passenger car emissions on roads with traffic calming measures. The Science of the total environment 235, 1999.
- [4] Antonson H., Blomqvist G., Mårdh S., Wiklund M., Effect of surrounding landscape on driving behaviour: A driving simulator study. Journal of Environmental Psychology, Vol.29, 2009.
- [5] Aria M., D'Ambrosio A., Galante F., Mauriello F., Montella A., Perneti M., Traffic calming along rural highways crossing small urban communi-

- ties: driving simulator experiment, *Accident analysis and prevention* Vol. 42, 2010.
- [6] Aria M., D'Ambrosio A., Galante F., Mauriello F., Montella A., Perneti M., *Perceptual Measures to Influence Operating Speeds and Reduce Crashes at Rural Intersections : Driving Simulator Experiment*, TRB Annual Meeting 2010.
- [7] Aria M., D'Ambrosio A., Galante F., Mauriello F., Montella A., Perneti M., *Simulator evaluation of drivers' speed, deceleration and lateral position at rural intersections in relation to different perceptual cues*. *Accident analysis and prevention* Vol. 43, 2011.
- [8] Ariën C., Brijs K., Brijs T., Daniels S., Jongen E. M. M., Wets G., *A simulator study on the impact of traffic calming measures in urban areas on driving behavior and workload*. *Accident analysis and prevention* Vol. 61, 2013.
- [9] Ariën C., Brijs K., Brijs T., Ceulemans W., Daniels S., Jongen E. M. M., Vanroelen G., Wets G., *Does the effect of traffic calming measures endure over time? – A simulator study on the influence of gates*. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 22, 2014.
- [10] Auberlet J.-M., Bertrand J., Plainchault P., Rosey F., *Impact of perceptual treatments on lateral control during driving on crest vertical curves: a driving simulator study*. *Accident analysis and prevention* Vol. 40, 2008.
- [11] Barbosa H. M., *Impacts of traffic calming measures on speed on Urban roads*. Praca doktorska, University of Leeds, 1995.
- [12] Barbosa H. M., May A. D., Tight M. R., *A model of speed profiles for traffic calmed roads*. *Transport Research Part A* 34, 2000.
- [13] Bella F., *Driving simulator for speed research on two-lane rural roads*. *Accident analysis and prevention* Vol. 40, 2008.
- [14] Bergeron J., Thiffault P., *Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study*. *Accident analysis and prevention*, Vol. 35, 2003.
- [15] Bohatkiewicz J., Biernacki S., Jamrozik K., *Wpływ wprowadzenia środków uspokojenia ruchu na hałas komunikacyjny w miastach. Metody ochrony środowiska przed hałasem – teoria i praktyka*, Zakopane 2013.
- [16] Bos J. M. J., Dijkstra A., *Road safety effects of small-scale infrastructural measures with emphasis on pedestrian safety*. Report D-98-14 SWOV, 1998.
- [17] Brownbridge N., Hills P. J., Rose G., *Modelling the effects of traffic calming schemes*. tec 2001.
- [18] Bunn F., Collier T., Frost C., Ker K., Steinbach R., Roberts I., Wentz R., *Area-wide traffic calming for preventing traffic related injuries*. The Cochrane Collaboration, 2009.
- [19] Catson S., *Offset Speed Tables for Reduced Emergency Response Delay*. ITE Technical Conference, 2004.
- [20] Charlton S. G., *The role of attention in horizontal curves: a comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments*. *Accident analysis and prevention* Vol. 39, 2007.

- [21] Choi K., Joo S., Lee G., Oh C., An evaluation framework for traffic calming measures in residential areas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* Vol.25, 2013.
- [22] Coleman M. A., *The Influence of Traffic Calming Devices upon Fire Vehicle Travel Times*. Portland Department of Transportation.
- [23] Corkle J., Giese J. L., Marti M. M., *Investigating the Effectiveness of Traffic Calming Strategies on Driver Behavior*. Traffic Flow and Speed, Minnesota Department of Transportation 2001.
- [24] Cynecki M. J., Huang H. F., *The Effects of Traffic Calming Measures on Pedestrian and Motorist Behavior*. FHWA Report RD-00-104, 2001.
- [25] Crane R., *On Form versus Function: Will the New urbanizm reduce Traffic, Or Increase It?*. *Journal of Planning Education and Research*, Vol. 15, 1996.
- [26] Dudek M., *Współzależność struktury i funkcji sieci ulic miasta*. Praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1998.
- [27] Edquist J., Lenné M. G., Rudin-Brown C. M., *The effects of on-street parking and road environment visual complexity on travel speed and reaction time*. *Accident analysis and prevention* Vol. 45, 2012.
- [28] Ewing R., *Traffic Calming: State of the Practice*. ITE Publication no. IR-098, Washington DC 1999.
- [29] Ewing R., *Impacts of Traffic Calming*. TRB Circular E-C019: Urban Street Symposium, 1999.
- [30] Galante F., Guglielmo M. L., Lamberti R., Montella A., *Perceptual Measures and Physical Devices for Traffic Calming Along a Rural Highway Crossing a Small Urban Community: Speed Behavior Evaluation in a Driving Simulator*. TRB Annual Meeting 2009.
- [31] García A., Moreno A. T., Romero M. A., Torres A. J., *Traffic Microsimulation Study to Evaluate the Effect of Type and Spacing of Traffic Calming Devices on Capacity*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 16, 2011.
- [32] García A., Moreno A. T., *Use of speed profile as surrogate measure: Effect of traffic calming devices on crosstown road safety performance*. *Accident analysis and prevention* Vol. 61, 2013.
- [33] Gardes Y., *Evaluating Traffic Calming and Capacity Improvements on the SR 20 Corridor Using Microscopic Simulation*. TRB Annual Meeting 2006.
- [34] Gårder P., Leden L., Rosander, P., Wikström P-E., *Safety and accessibility effects of code modifications and traffic calming of an arterial road*. *Accident analysis and prevention*, Vol. 38, Issue 3, 2006.
- [35] Geddes E., Hemsing S., Johnson M., Zein S. R., *Safety Benefits of Traffic Calming*. *Transportation Research Record* 1578, 1997.
- [36] Ghafghazi G., Hatzopoulou M., *Simulating the environmental effects of isolated and area-wide traffic calming schemes using traffic simulation and microscopic emission modeling*. *Transportation*, Springer 2014.

- [37] Granà A., Guerrieri M., Exploring Effects of Area-Wide Traffic Calming Measures on Urban Road Sustainable Safety, *Journal of Sustainable Development*, Vol.3, No.4 2010.
- [38] Hermosillo M. B., Katz B. J., Molino J. A., Simulator Evaluation of Low Cost Safety Improvements on Rural, Two-Lane, Undivided Roads: Night-time Delineation for Curves and Traffic Calming for Small Towns, *TRB Annual Meeting* 2010.
- [39] Jamson H., Jamson S., Lai F., Driving simulators for robust comparisons: a case study evaluating road safety engineering treatments. *Accident analysis and prevention* Vol. 42, 2010.
- [40] Johnson L., Nedzesky A. J., A Comparative Study of Speed Humps. Speed Slots and Speed Cushions, *ITE* 2008.
- [41] Książek A., Analiza wprowadzenia strefy ruchu uspokojonego w centrum miasta Bielska-Białej przy użyciu narzędzi symulacyjnych. Praca magisterska, Politechnika Krakowska, Kraków 2011.
- [42] Książek A., Analiza rozwiązań strefowego uspokojenia ruchu. *Transport Miejski i Regionalny* nr 1/2013.
- [43] Layfield R. E., Parry D. I., Traffic calming — speed cushion schemes. *TRL Report* 312, 1998.
- [44] Layfield R. E., Webster D. C., Review of 20 mph zones in London Boroughs. *TRL Project Report* PPR243, 2003.
- [45] Litman T., *Traffic Calming Benefits, Costs and Equity Impacts*. Victoria Transport Policy Institute, 1999.
- [46] Luoma J., Sivak M., Interactions of environmental and safety measures for sustainable road transportation. *European Transport Research Review* Vol.4, Issue 4 2012.
- [47] Mackie A., Urban speed management methods, *TRL Report* 363 1998.
- [48] Mackie A., Webster D. C., Review of traffic calming schemes in 20 mph zones. *TRL Report* 215, 1996.
- [49] Mao J., Koorey G., Investigating and modelling the effects of traffic calming devices. *IPENZ Transportation Group Conference* Christchurch, 2010.
- [50] Melanowski Z., Rudnicki A., Uspokojenie ruchu w śródmieściu Krakowa. *Transport Miejski* nr 7/8, 1995.
- [51] Nash A., Traffic Calming In Three European Cities: Recent Experience. *TRB Annual Meeting* 2004.
- [52] O'Brien A., *Traffic Calming – Ideas Into Practice*. ITE Publication no. PP-037, Washington DC 1993.
- [53] Praca zbiorowa pod red. Bohatkiewicz J., *Zasady uspokajania ruchu na drogach za pomocą fizycznych środków technicznych*. Ministerstwo Infrastruktury 2008.
- [54] Praca zbiorowa pod red. Rudnicki A., *Innowacje na rzecz zrównoważonego transportu miejskiego. Doświadczenia z realizacji projektu Unii Europejskiej CIVITAS-CARAVEL*, Kraków 2010 s. 21-32.

-
- [55] Praca zbiorowa, Traffic Calming, Department for Transport. Local Transport Note 1/07 2007.
 - [56] Praca zbiorowa, Zasady uspokajania ruchu na drogach województwa pomorskiego. Pomorska rada bezpieczeństwa ruchu drogowego.
 - [57] Program Uspokoienia Ruchu, Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa 2008.
 - [58] van Schagen I., Traffic calming schemes. Report R-2003-22 SWOV, 2003.
 - [59] Zalewski A., Ocena funkcjonowania uspokojenia ruchu na drodze krajowej nr 21 w Kobylnicy Słupskiej. Transport Miejski 1/2003.
 - [60] Zalewski A., Uspokoienie ruchu jako zagadnienie urbanistyczne. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej Nr 1104, Łódź 2011.