

9

OCENA POPRAWNOŚCI METOD SYMULACJI KOMPUTEROWEJ W BADANIACH HAŁASU KOMUNIKACYJNEGO

9.1 WSTĘP

Problem nadmiernego hałasu jest jednym z podstawowych problemów współczesnego świata. Uciążliwy i długotrwały hałas w miejscu pracy prowadzi do wystąpienia wielu chorób zawodowych. Rocznik Statystyczny Przemysłu z 2014 roku [11] podaje, że w warunkach zagrożenia nadmiernym hałasem pracuje 170 tysięcy pracowników (na 290 tys. zatrudnionych w warunkach zagrożenia czynnikami związanymi ze środowiskiem pracy). Działania zmierzające do ograniczenia nadmiernego hałasu na stanowisku pracy opisane zostały szeroko przez autora w wielu publikacjach [3, 6, 7, 8, 9]. W pracach tych przedstawiono sposoby redukcji nadmiernego hałasu pochodzącego od źródeł przemysłowych wpływających na pracowników oraz na środowisko zewnętrzne. Duża ilość osób narażonych na ponadnormatywny hałas w miejscu pracy, nie pokazuje jednak jaka jest rzeczywista skala problemu narażenia na nadmierny hałas. Głównymi źródłami hałasu oddziałującym na całą populację są w tej chwili przede wszystkim źródła ogólnie nazywane komunikacyjnymi. Zaliczamy do nich:

- źródła hałasu drogowego,
- źródła hałasu szynowego (kolejowego i tramwajowego).

Problem analizy wpływu hałasu komunikacyjnego wiąże się ściśle z zagadnieniem tworzenia i eksploatacji strategicznych map akustycznych. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z roku 2002 [2] obliguje Państwa członkowskie UE do sporządzania strategicznych map hałasu. Każde miasto na terenie Unii Europejskiej powyżej 250 tys. mieszkańców, miało obowiązek stworzenia takiej mapy do 30 czerwca 2007 roku. Aglomeracje o liczbie mieszkańców od 100 do 250 tys. mieszkańców, pierwszą strategiczną mapę hałasu miały wykonać do 30 czerwca 2012. Z uwagi na to, że wszystkie miasta niezależnie od liczby ich mieszkańców są zobowiązane do aktualizacji swoich map co 5 lat, kolejnej edycji tych map można się spodziewać w bieżącym roku.

Rekomendacja Unii Europejskiej dotyczy również metod obliczeniowych, jakie należy stosować w procesie tworzenia strategicznej mapy hałasu. W przypadku

hałasu przemysłowego zalecaną metodą jest model propagacji dźwięku, zawarta w PN-ISO 9613-2:2002. „Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej Ogólna metoda obliczania” [10].

W przypadku hałasu komunikacyjnego (drogowego) Dyrektywa zaleca francuską krajową metodę obliczania poziomów dźwięku „NBPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), o której mowa w Arrêtè du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6 oraz francuska norma „XPS 31-133” [4, 5]. Część krajów wspólnoty opracowało jednakże własne metody obliczeniowe i stosują je do opracowywania map akustycznych hałasu drogowego. Polska nie posiada własnej metody obliczeniowej, dlatego też w większości przypadków przy tworzeniu takich map korzysta się z metody zalecanej. Metoda NMPB opiera się na uwzględnieniu szeregu czynników, które mają wpływ na poziom hałasu drogowego:

- grupa czynników związana z parametrami konstrukcyjnymi pojazdu, (np. rodzaj pojazdu: osobowy, ciężki, motocykl),
- grupa czynników zależna od parametrów ruchowych i eksploatacyjnych pojazdów,
- czynniki związane z budową infrastruktury transportowej (w tym dróg) oraz architekturą i ukształtowaniem całego obszaru komunikacyjnego,
- warunki meteorologiczne.

Na podstawie powyższych parametrów algorytm metody NMPB-Routes-96. wyliczają poziomy mocy akustycznej dla każdego źródła (pojazdu) oraz wyznaczają trasy propagacji dźwięku pomiędzy każdym ze źródeł a punktem odbioru. Metoda ta realizowana jest według następującej procedury:

- podział liniowego źródła na źródła punktowe,
- określenie poziomu mocy akustycznej dla każdego utworzonego źródła punktowego,
- poszukiwanie tras propagacji dźwięku pomiędzy każdym ze źródeł punktowych a punktem odbioru (trasa bezpośrednia, trasa odbita i/lub ugięta),
- dla każdej z tras propagacji prowadzenie kolejno obliczeń dotyczących: tłumienia dla warunków korzystnych, tłumienia dla warunków jednorodnych, obliczenia poziomu długotrwałego,
- obliczenie poziomu całkowitego (skumulowanie poziomów długotrwałych dla każdej z tras).

W przypadku hałasu komunikacyjnego (szynowego) Dyrektywa zaleca stosowanie holenderskiej krajowej metody obliczania poziomów dźwięku pochodzących od pojazdów szynowych, opublikowanej w „Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaai 96. Ministerie Volkshuisvesting. Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 listopad 1996” [12], umownie nazywaną metodą RMR/SRM2. Również w tej sytuacji istnieją inne krajowe metody obliczeniowe stosowane przez wybrane państwa Unii europejskiej. Polska również w tym przypadku stosuje metodę zalecaną. W metodzie podobnie jak ma to miejsce

w metodzie NMPB, o wielkości emisji hałasu przez pojazdy szynowe decyduje szereg czynników:

- charakteryzujących strukturę ruchu (ilość pojazdów przejeżdżających danym odcinkiem torów, rodzaje i długość pociągów lub tramwajów, prędkości pojazdów,)
- opisujących rodzaj torowiska i podbudowy torowiska.

Na podstawie powyższych czynników wyznaczany jest poziom mocy akustycznej linii kolejowej, która to wartość wykorzystywana jest w procesie symulacyjnej analizy propagacji dźwięku od źródła dźwięku do odbiornika.

Szczegółowe informacje o metodach N MPB-Routes-96. oraz MRM/SRM2 zawarto w [1].

Celem przedstawionych badań w artykule, było zestawienie ze sobą wyników pomiarów dokonanych metodą bezpośrednią z wynikami symulacji przeprowadzonych wybranymi metodami obliczeniowymi z wykorzystaniem programu CadnaA® firmy DataKustik. Badania zrealizowano dla hałasu drogowego oraz hałasu szynowego w szczególności tramwajowego.

9.2 OCENA POPRAWNOŚCI METOD SYMULACJI KOMPUTEROWEJ W BADANIACH HAŁASU DROGOWEGO

9.2.1 Obszar badań

Obszar badań obejmował fragment miasta Bytom w rejonie ulicy Żołnierskiej, będącej częścią drogi krajowej numer 78.



Rys. 9.1 Obszar okolic ulicy Żołnierskiej

Źródło: opracowanie własne

Badany teren charakteryzuje się dużą ilością terenów zielonych oraz zabudową podwórzową. Miejsce to zostało wybrane ze względu na duże natężenie ruchu jakim charakteryzuje się ulica Żołnierska, przy stosunkowo niewielkim ruchu na drogach dojazdowych do okolicznych posesji. Wybrany obszar gwarantował uzyskanie wyników pomiarów wartości poziomu hałasu od jednego dominującego źródła – rys. 9.1 przedstawia badany obszar.

9.2.2 Pomiary w punktach referencyjnych

Celem wykonywanych pomiarów było określenie panujących warunków w bezpośrednim sąsiedztwie ulicy Żołnierskiej w Bytomiu. Pomiary przeprowadzono w 2 punktach położonych w odległości 20 i 100 metrów od osi jezdni na wysokości 4 metry nad poziomem drogi. W czasie trwania pomiarów prowadzono również zliczanie pojazdów mechanicznych poruszających się po drodze. Pomiar przeprowadzono metodą bezpośrednią ciągłych pomiarów w ograniczonym czasie.

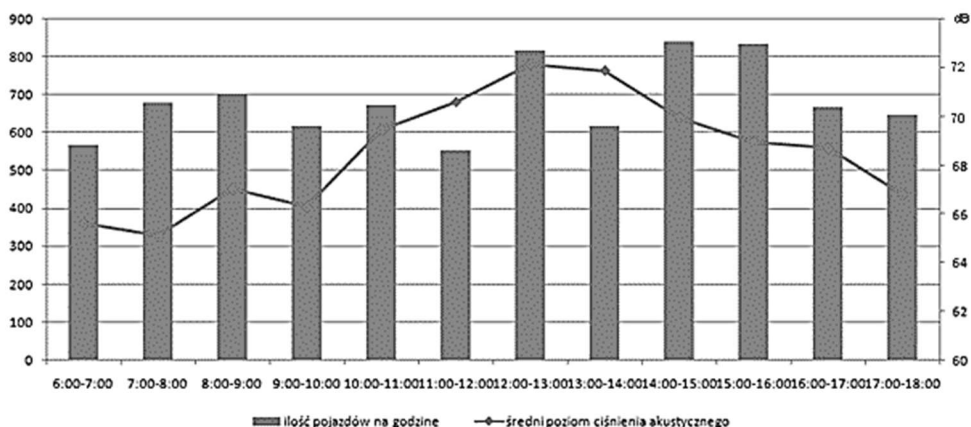
W wyniku przeprowadzonych pomiarów uzyskano następujące wyniki (tabela 9.1, 9.2, rys. 9.2, 9.3):

- w porze dziennej

Tabela 9.1 Ilość pojazdów poruszających się w porze dziennej

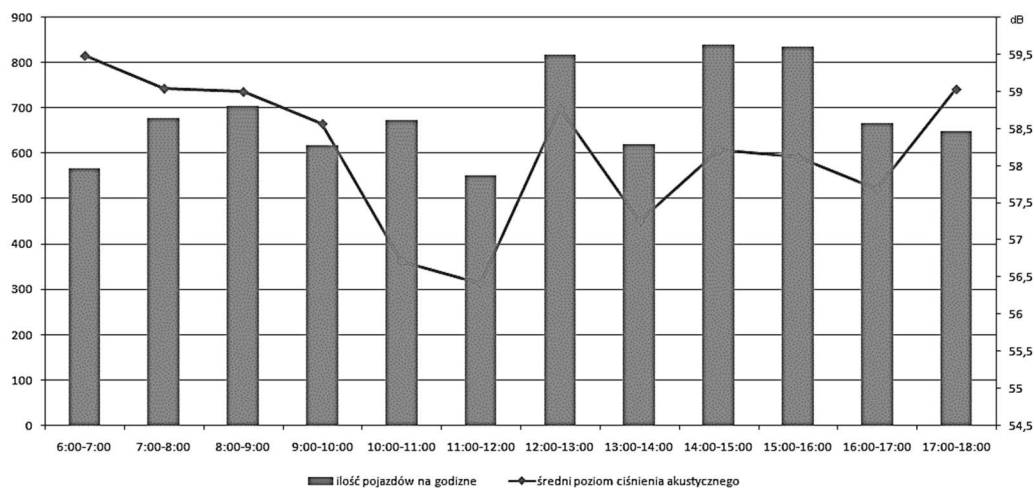
godzina pomiaru	Kierunek Gliwice					Kierunek Tamowskie Góry				
	Typ pojazdu					Typ pojazdu				
	osobowe	ciężarowe	autobusy	jednoślady	ciągniki	osobowe	ciężarowe	autobusy	jednoślady	ciągniki
6:00-7:00	310	45	2	2	1	179	28	1	0	0
7:00-8:00	355	55	1	2	0	222	40	3	1	0
8:00-9:00	342	43	1	0	0	275	42	1	0	0
9:00-10:00	252	37	1	0	0	285	41	1	0	1
10:00-11:00	287	40	2	0	0	304	38	0	2	0
11:00-12:00	218	32	1	0	0	270	31	1	0	0
12:00-13:00	296	48	2	2	1	408	59	1	1	0
13:00-14:00	195	23	1	0	0	350	46	3	1	1
14:00-15:00	287	42	1	1	1	455	52	1	0	1
15:00-16:00	261	53	5	1	2	470	41	0	2	0
16:00-17:00	225	40	2	1	0	355	41	2	2	0
17:00-18:00	255	35	0	3	1	317	33	1	4	0
Suma:	3283	493	19	12	6	3890	492	15	13	3

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9.2 Przebieg poziomu ciśnienia akustycznego - wartość $Leq,1h$ [dB]. Punkt pomiarowy odległy o 20m

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9.3 Przebieg poziomu ciśnienia akustycznego - wartość $Leq,1h$ [dB]. Punkt pomiarowy odległy o 100m

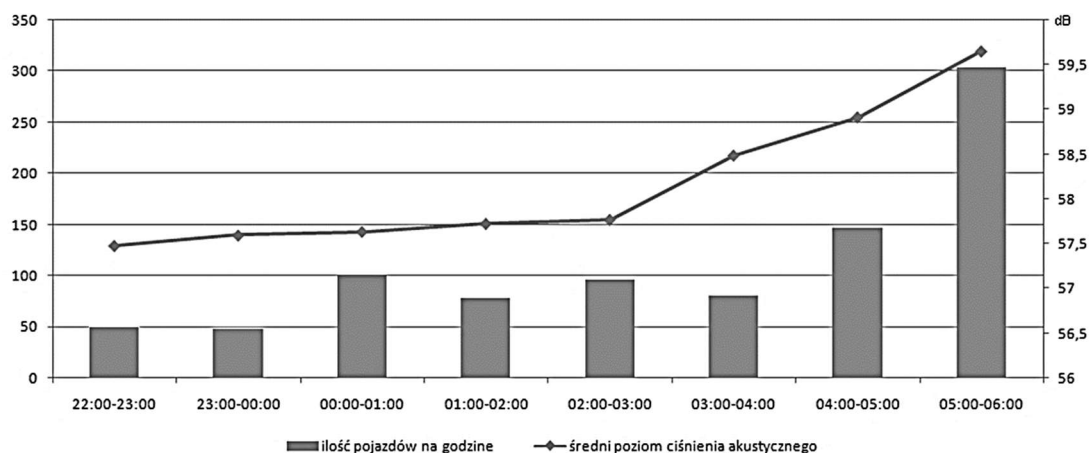
Źródło: opracowanie własne

- w porze nocnej

Tabela 9.2 Ilość pojazdów poruszających się w porze nocnej

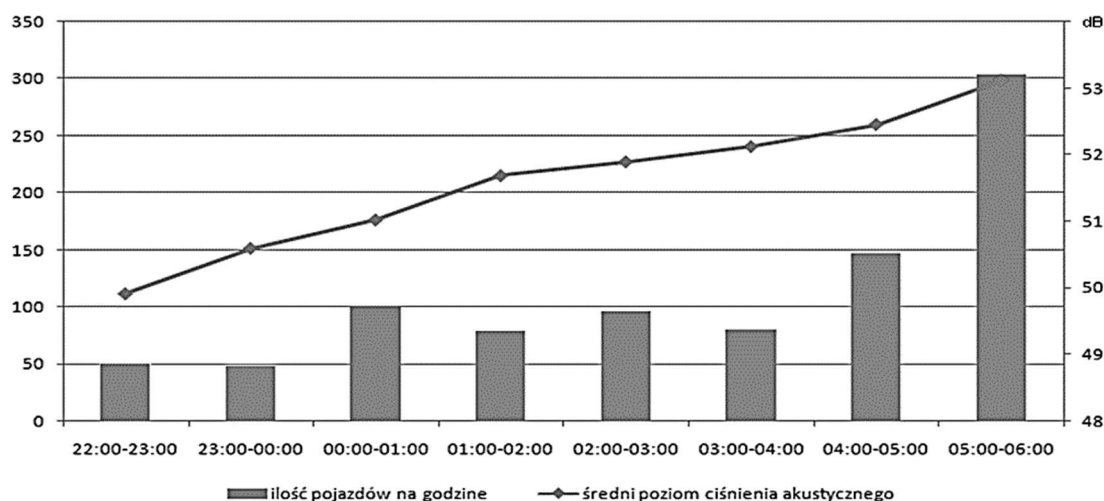
godzina pomiaru	Kierunek Gliwice					Kierunek Tamowskie Góry				
	Typ pojazdu					Typ pojazdu				
	osobowe	ciężarowe	autobusy	jednosłady	ciągniki	osobowe	ciężarowe	autobusy	jednosłady	ciągniki
22:00-23:00	27	2	0	0	0	24	0	0	0	0
23:00-00:00	23	1	0	0	0	22	1	0	0	0
00:00-01:00	45	15	0	0	0	32	8	0	0	0
01:00-02:00	35	21	0	0	0	20	3	0	0	0
02:00-03:00	31	28	0	1	0	22	15	0	0	0
03:00-04:00	21	21	0	1	0	23	15	0	0	0
04:00-05:00	43	35	1	0	0	53	14	1	0	0
05:00-06:00	132	38	2	1	0	106	24	1	0	0
Suma:	357	161	3	3	0	302	80	2	0	0

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9.4 Przebieg poziomu ciśnienia akustycznego - wartość $Leq,1h$ [dB].
Punkt pomiarowy odległy o 20m

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9.5 Przebieg poziomu ciśnienia akustycznego - wartość $Leq,1h$ [dB].
Punkt pomiarowy odległy o 100m

Źródło: opracowanie własne

9.2.3 Wyniki symulacji akustycznych z zastosowaniem wybranych metod obliczeniowych

W celu przeprowadzenia symulacji komputerowych stworzono cyfrowy model badanego obszaru z wykorzystaniem oprogramowania klasy GIS, który następnie przeniesiono do programu obliczeniowego CadnaA® firmy DataKustik.

Symulacji dokonano z wykorzystaniem następujących metod obliczeniowych:

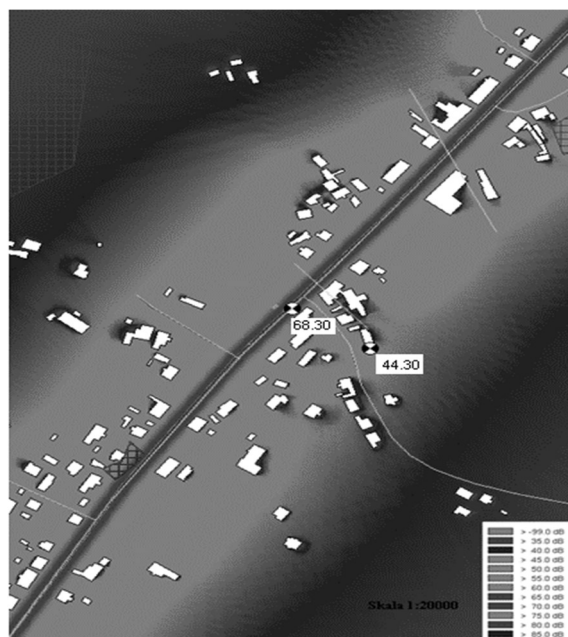
- NMPB (m. francuska)
- RLS9 (m. niemiecka)
- STL86 (m. szwajcarska)
- RVS 3.02 (m. austrijacka)
- Nordic Pred. Metod
- CRTN (m. brytyjska)

W przypadku każdej z metod uzyskano wartości wskaźników L_D , L_N , L_{DEN} dla dwóch punktów pomiarowych pokrywających się z punktami pomiarów bezpośrednich oraz mapy pola akustycznego. Wyniki symulacji przedstawia tabela 9.3 oraz rys. 9.6.

Tabela 9.3 Zestawienie wyników symulacji z wynikami pomiarów

Metoda	Pora dzienna L_D		Pora nocna L_N		Pomiar dobowy L_{DEN}	
	Punkt 1 (20m)	Punkt 2 (100m)	Punkt 1 (20m)	Punkt 2 (100m)	Punkt 1 (20m)	Punkt 2 (100m)
Wartość pomiarowa	65,40dB	57,80dB	58,11dB	51,60dB	63,80dB	56,90dB
NMPB	68,30dB	44,30dB	65,00dB	43,80dB	68,20dB	45,20dB
RLS 90	70,60dB	46,10dB	65,10dB	41,00dB	69,10dB	45,10dB
STL 86	65,70dB	42,10dB	54,00dB	29,90dB	63,90dB	39,80dB
RVS 3.02	65,30dB	44,10dB	52,10dB	30,90dB	62,60dB	41,40dB
Nordic Pred. Method	66,40dB	34,90dB	54,20dB	23,30dB	64,60dB	33,60dB
CRTN	67,20dB	35,40dB	66,10dB	40,30dB	69,60dB	43,80dB

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9.6 Mapa hałasu komunikacyjnego analizowanego obszaru, otrzymana w wyniku zastosowania metody francuskiej - wartość L_D

Źródło: opracowanie własne

9.2.4 Podsumowanie

Porównanie zestawionych wyników wykazuje, iż żadna z zastosowanych metod nie daje wyników całkowicie poprawnych. Wyniki w punkcie 1 (odległym o 20 m) wykazują pewien rozrzut wokół wartości pomiarowych – nie są te rozbieżności jednakowoż tak duże by stwierdzić, że któraś z metod jest „katastrofalnie” zła. Modele symulacyjne podlegają kalibracji, który to proces pozwala poprzez zastosowanie odpowiednich poprawek dostosować model a co za tym idzie, uzyskiwane wartości do wartości rzeczywistych zmierzonych w punktach referencyjnych.

Wyniki uzyskane w punkcie 2 (odległym o 100 m) wykazują o wiele większe rozbieżności. Wynikać one mogą z dwóch przyczyn: niedoskonałości metod obliczeniowych w przypadku dalszych odległości, lub z niedokładności modelu symulacyjnego. Ta druga przyczyna wydaje się bardziej możliwa. Pomiar był dokonywany na terenie o zabudowie podwórzowej. Tego typu posesje często są źródłem hałasu, który mógł mieć wpływ na wyniki pomiarów. Powyższy problem wskazuje jak ważny jest prawidłowy wybór punktów referencyjnych w procesie tworzenia strategicznej mapy hałasu.

9.3 OCENA POPRAWNOŚCI METOD SYMULACJI KOMPUTEROWEJ W BADANIACH HAŁASU TRAMWAJOWEGO

9.3.1 Obszar badań

Obszar badań znajdował się w mieście Bytomiu, w okolicach ulic Topolowej i Strzelców Bytomskich. Fragment torowiska tramwajowego będącego obiektem badań znajduje się w odległości ok. 150 m od przystanku „Bytom Odrzańska” będącego przystankiem „na żądanie”. Po torowisku tym poruszają się linie tramwajowe: 7, 9, 17, 19, 31, 38. Wymienione linie tramwajowe są liniami miejskimi. Badana linia posiada dwa torowiska, nad którym rozciągnięta jest tramwajowa trakcja elektryczna. Szyny torowiska nie są ze sobą spawane, ułożone na podkładkach drewnianych, do których przymocowane są za pomocą śrub.

Stan techniczny torowiska oceniony jest jako dostateczny, z powodu licznych nierówności, ubytków w strukturze toru i jego pofałdowania. Torowisko jest umieszczone na nasypie żwirowym o wysokości ok. 1,2 m. Linia tramwajowa będąca celem pomiarów jest umiejscowiona na terenie który nie jest licznie zamieszkały, dlatego też zabudowa mieszkalna jest stosunkowo niewielka. Po stronie gdzie były wykonywane pomiary, znajduje się niewielki staw oddzielony od torowiska terenem łąkowym, gdzie były umiejscowione mierniki oraz na południu fragmentem ogródków działkowych o zabudowie nie przekraczającej 2,5 m wysokości.

Po badanym torowisku poruszają się następujące rodzaje tramwajów (rys. 9.7):



Rys. 9.7 Rodzaje tramwajów poruszające się po badanym torowisku

Po przeciwnej stronie torowiska znajdują się ogródki działkowe o identycznej zabudowie jak w części południowej oraz fragmenty nieużytków oddzielające badane torowisko od ulicy Strzelców Bytomskich (rys. 9.8).



Rys. 9.8 Mapa zagospodarowania terenu w rejonie prowadzenia badań akustycznych
Źródło: opracowanie własne

Podane wyżej modele tramwajów na badanym odcinku osiągają prędkość w przedziale 35-45 km/h. Długość tramwajów typu 105N/2K oraz zmodernizowanego modelu 105Na według danych technicznych wynosi 13,5 m, natomiast dwuwagonowy model 105Na+105NaD mierzy 29 m.

9.3.2 Pomiary w punktach referencyjnych

Celem wykonywanych pomiarów było określenie panujących warunków w bezpośrednim sąsiedztwie ulic Topolowej i Strzelców Bytomskich. Pomiary przeprowadzono w 2 punktach położonych w odległości 20 i 100 metrów od torowiska na wysokości 4 metry ponad poziomem szyn.

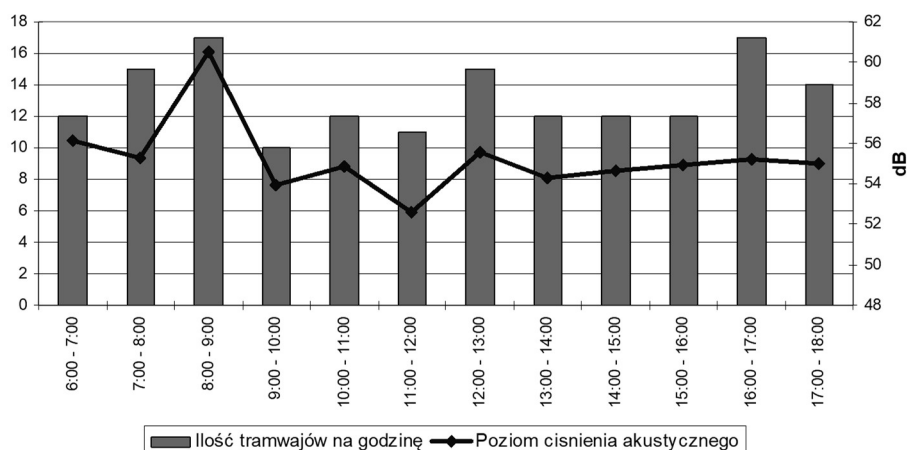
W czasie trwania pomiarów prowadzono również zliczanie przejeżdżających tramwajów. Pomiar przeprowadzono metodą bezpośrednią ciągłych pomiarów w ograniczonym czasie. W wyniku przeprowadzonych pomiarów uzyskano następujące wyniki (tabela 9.4, 9.5, rys. 9.9, 9.10, 9.11, 9.12):

- w porze dziennej

Tabela 9.4 Ilość tramwajów poruszających się w porze dziennej

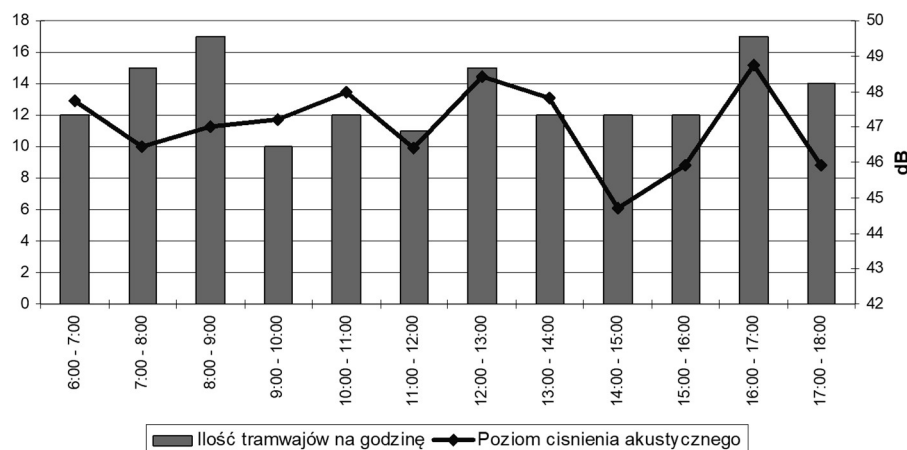
Godziny pomiaru	Kierunek Dąbrowa Miejska Leśna		Kierunek Bytom Piłkarska	
	Rodzaj tramwaju		Rodzaj tramwaju	
	I wagonowy	II wagonowy	I wagonowy	II wagonowy
6:00 – 7:00	2	2	5	3
7:00 – 8:00	4	4	4	3
8:00 – 9:00	4	4	4	5
9:00 – 10:00	2	2	3	3
10:00 – 11:00	3	2	5	2
11:00 – 12:00	3	3	3	2
12:00 – 13:00	4	3	4	4
13:00 – 14:00	4	1	4	3
14:00 – 15:00	3	4	4	1
15:00 – 16:00	4	2	3	3
16:00 – 17:00	6	3	5	3
17:00 – 18:00	3	5	6	0

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9.9 Przebieg poziomu ciśnienia akustycznego - wartość $Leq,1h$ [dB]. Punkt pomiarowy odległy o 20m

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9.10 przebieg poziomu ciśnienia akustycznego - wartość $Leq,1h$ [dB]. Punkt pomiarowy odległy o 100m

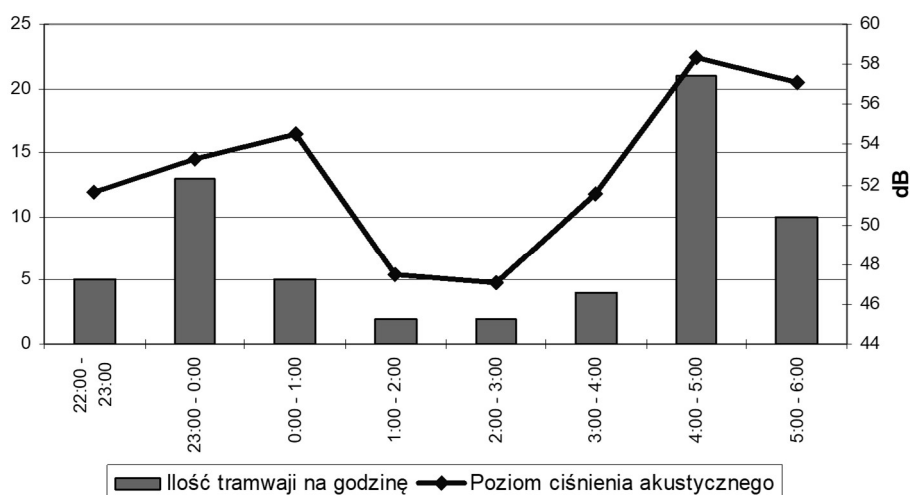
Źródło: opracowanie własne

• w porze nocnej

Tabela 9.5 Ilość tramwajów poruszających się w porze nocnej

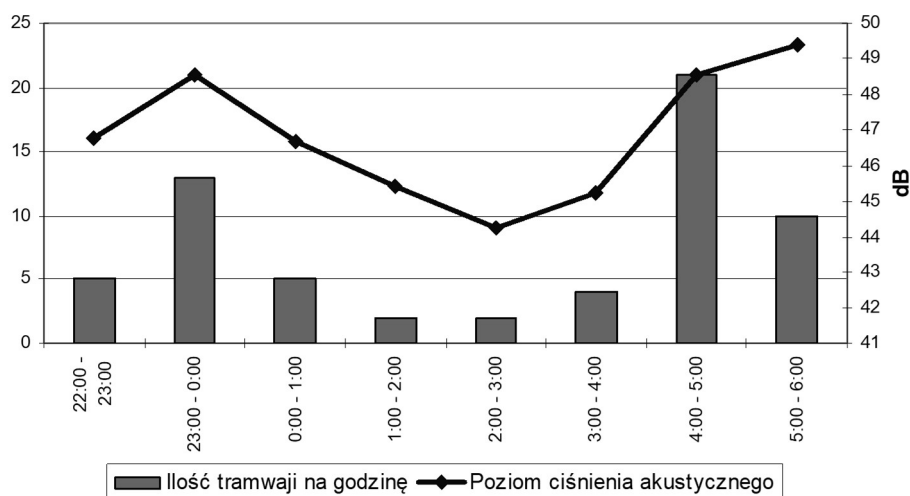
Godziny pomiaru	Kierunek Dąbrowa Miejska Leśna		Kierunek Bytom Piłkarska	
	Rodzaj tramwaju			
	I wagonowy	II wagonowy	I wagonowy	II wagonowy
22:00 – 23:00	2	1	1	1
23:00 – 0:00	10	2	1	0
0:00 – 1:00	4	0	1	0
1:00 – 2:00	1	0	1	0
2:00 – 3:00	1	0	1	0
3:00 – 4:00	1	0	3	0
4:00 – 5:00	1	0	14	6
5:00 – 6:00	2	1	5	2

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9.11 Przebieg poziomu ciśnienia akustycznego - wartość $Leq,1h$ [dB]. Punkt pomiarowy odległy o 20m

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9.12 Przebieg poziomu ciśnienia akustycznego - wartość $Leq,1h$ [dB]. Punkt pomiarowy odległy o 100m

Źródło: opracowanie własne

9.3.3 Wyniki symulacji akustycznych z zastosowaniem wybranych metod obliczeniowych

W celu przeprowadzenia symulacji komputerowych stworzono cyfrowy model badanego obszaru z wykorzystaniem oprogramowania klasy GIS który następnie przeniesiono do programu obliczeniowego CadnaA® firmy DataKustik.

Symulacji dokonano z wykorzystaniem następujących metod obliczeniowych:

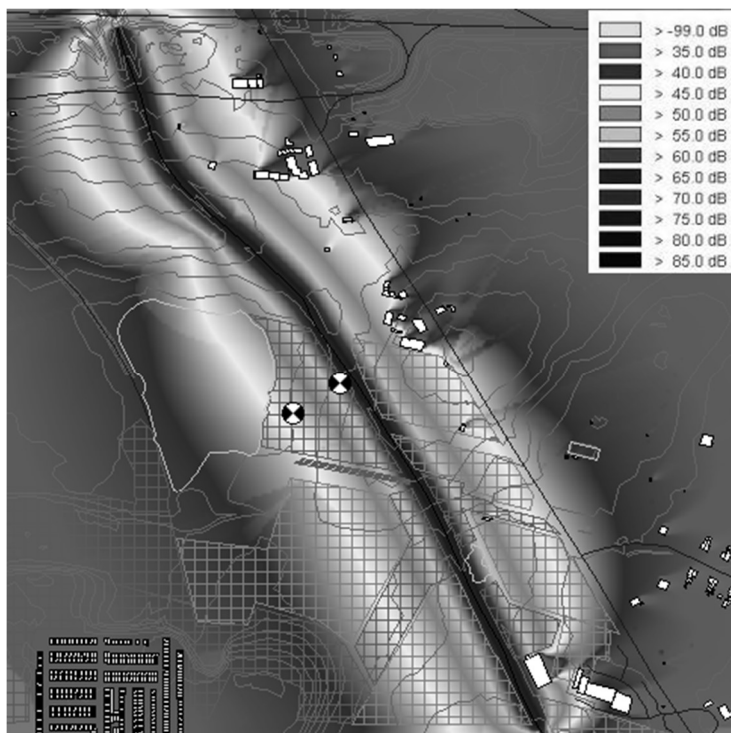
- Holenderska (RMR)
- Niemiecka (Schall 03)
- Austriacka (ONORM S 5011)
- Szwajcarska (SEMIBEL)
- Skandynawska (Nord Pred. Metod)
- Brytyjska (CRN)

W przypadku każdej z metod, uzyskano wartości wskaźników L_D , L_N , L_{DEN} dla dwóch punktów pomiarowych pokrywających się z punktami pomiarów bezpośrednich oraz mapy pola akustycznego. Przykładowe wyniki symulacji przedstawiają tabela 9.6 oraz rys. 9.13.

Tabela 9.6 Zestawienie wyników symulacji z wynikami pomiarów

Metoda	Pora dzienna L_D		Pora nocna L_N		Pomiar dobowy L_{DEN}	
	Punkt 1 (20m)	Punkt 2 (100m)	Punkt 1 (20m)	Punkt 2 (100m)	Punkt 1 (20m)	Punkt 2 (100m)
Wartość pomiarowa	55,7	47,5	54,2	47,2	55,2	47,3
Holenderska (RMR)	54,3	41,7	53,2	40,6	59,2	46,6
Niemiecka (Schall 03)	49,8	38,6	48,7	37,5	54,7	43,5
Austriacka (ONORM S 5011)	53,5	43,4	51,1	41,0	58,1	48,1
Szwajcarska (SEMIBEL)	52,4	41,3	49,0	37,9	56,0	44,9
Skandynawska (Nord Pred. Metod)	52,2	42,2	48,1	38,1	54,7	44,7
Brytyjska (CRN)	54,5	44,5	55,2	45,2	61,0	51,0

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9.13 Mapa hałasu komunikacyjnego analizowanego obszaru, otrzymana w wyniku zastosowania metody holenderskiej - wartość L_{DEN}

Źródło: opracowanie własne

9.4 PODSUMOWANIE

Porównując uzyskane wyniki można zauważyć pewne odchylenia wartości otrzymanych metodami symulacyjnymi od wyników, jakie zostały otrzymane wskutek pomiarów bezpośrednio na miejscu pomiarowym. W odniesieniu do punktu pomiarowego oddalonego od torowiska o 20 m, różnice te wynosiły od 0,5 do ponad 6 dB, natomiast w przypadku punktu pomiarowego oddalonego o 100 m od torowiska mieściły się w przedziale od 0,7 do prawie 10 dB (w przypadku niemieckiej metody obliczeniowej).

Ciekawą zależność zauważyć można porównując wyniki badań i symulacji dla przypadku bardziej odległego punktu pomiarowego oraz pory nocnej. Różnice uzyskanych wyników w tej sytuacji są największe. Wynikać może to z faktu, że punkt oddalony o 100 metrów, narażony był na większy wpływ zakłóceń akustycznych w szczególności w porze nocnej, kiedy badaną trasą przejeżdżała mała ilość tramwajów.

9.5 WNIOSKI

Zaprezentowane wyniki badań wykazują, że wartości uzyskane w wyniku symulacji komputerowej rozprzestrzeniania hałasu komunikacyjnego różnią się od wartości pomiarowych. Różnice zaobserwować można również pomiędzy wartościami uzyskanymi różnymi metodami obliczeniowymi zastosowanymi do symulacji hałasu odpowiednio drogowego i tramwajowego. Przyczyną tego stanu może być niedostosowanie metod obliczeniowych do warunków panujących na

polskich drogach i liniach tramwajowych. Pomimo dużych nakładów finansowych, jakie przeznaczono na modernizację dróg, linii tramwajowych i taboru tramwajowego, warunki panujące na tych drogach komunikacyjnych nadal odbiegają od warunków europejskich. W szczególności ma tu znaczenie wiek samochodów poruszających się po polskich drogach (średnio ok. 15 lat w Polsce, 5 lat w Europie zachodniej).

Porównując wartości uzyskane w wyniku symulacji i z pomiarów bezpośrednich należy pamiętać, że w przypadku realizacji mapy strategicznej dokonuje się tzw. kalibracji modelu. Po przeprowadzeniu pierwszej symulacji porównuje się wartości symulacyjne z pomiarowymi, a następnie dokonuje modyfikacji parametrów źródeł dźwięku lub środowiska, w którym symulowana jest propagacja dźwięku. Po dokonaniu koniecznych poprawek, przeprowadza się ponowną procedurę obliczeniową, a następnie ponownie porównuje uzyskane wyniki z wartościami pomiarowymi. Procedurę tą można przeprowadzić wielokrotnie, do uzyskania wartości symulacyjnych na akceptowalnym poziomie.

Pomimo pewnych niedoskonałości metod symulacyjnych, jest to jedyna alternatywa w przypadku tworzenia strategicznej mapy hałasu miast.

LITERATURA

1. „Algorytmy obliczeń hałasu drogowego i kolejowego”. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska 2007. Pobrano z: http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/monitoring_halasu/metody_oblicz_v_2010.pdf [Dostęp 15.01.2017]
2. Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady z dnia 25 czerwca 2002 w sprawie oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku (Dz.U. WE L 189 z dnia 18 lipca 2002 r)
3. A. Boczkowski, „Komputerowe wspomaganie w procesie realizacji ocen oddziaływania akustycznego zakładów przemysłowych na środowisko,” w *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T. 2.*, R. Knosala, Red., Opole, Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2015, pp. 372-383.
4. French national computation method “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPCSTB)”, referred to in Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, *Journal Officiel* du 10 mai 1995, Article 6
5. French standard XP S 31-133:2001, Acoustique – Bruit des infrastructures de transports terrestres – Calcul de l’atténuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques, AFNOR, 2001 Instytut
6. A. Kuboszek i A. Boczkowski, „Techniczne i pozatechniczne aspekty wdrażania innowacyjnych metod projektowania zabezpieczeń przeciwhałasowych w przemyśle. Etap I. Ekspertyza akustyczna,” w *Zarządzanie innowacjami w produkcji i usługach. Monografia.*, J. Kaźmierczak i J. Bartnicka, Redaktorzy, Opole, Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2014, pp. 15-36.
7. A. Kuboszek i A. Boczkowski, „Techniczne i pozatechniczne aspekty wdrażania innowacyjnych metod projektowania zabezpieczeń przeciwhałasowych w

- przemysłu. Etap II. Projekt akustyczny,” w *Zarządzanie innowacjami w produkcji i usługach. Monografia*, J. Kaźmierczak i J. Bartnicka, Redaktorzy, Opole, Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2014, pp. 35-48.
8. A. Kuboszek i A. Boczkowski, „Wykorzystanie metod komputerowych do oszacowania skuteczności redukcji hałasu na stanowiskach pracy,” *Inżynieria Systemów Technicznych*, nr 2 (11), pp. 26-38, 2015.
 9. A. Kuboszek, „Wspomaganie procesu projektowania zabezpieczeń akustycznych na stanowiskach pracy,” w *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T. 2.*, R. Knosala, Red., Opole, Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2015, pp. 427-738.
 10. PN-ISO 9613-2: 2002. „Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania”
 11. „Rocznik Statystyczny Przemysłu,” 2014. Pobrano z: http://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/5/8/1/rocznik_statystyczny_przemyslu.pdf. [Dostęp: 26.05.2015.]
 12. SRM II - The Netherlands national computation method published in Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai “96, Ministerie Volkshuisvesting, *Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Publikatierreeks Verstoring*, Nr. 14/1997, VROM, November 1996

Data przesłania artykułu do Redakcji: 02.2017

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2017

dr inż. Artur Kuboszek

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

Instytut Inżynierii Produkcji

ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Polska

e-mail: Artur.Kuboszek@polsl.pl

**OCENA POPRAWNOŚCI METOD SYMULACJI KOMPUTEROWEJ
W BADANIACH HAŁASU KOMUNIKACYJNEGO**

Streszczenie: *W artykule przedstawiono przykłady zastosowania komputerowych metod symulacji zjawisk akustycznych w procesie tworzenia strategicznej mapy hałasu. Artykuł przedstawia porównanie wyników badań uzyskanych w symulacji komputerowej i wyników pomiarów w środowisku.*

Słowa kluczowe: *hałas, metody symulacyjne, mapa hałasu*

**VALIDATION OF COMPUTER SIMULATION METHODS
IN THE STUDY OF TRAFFIC NOISE**

Abstract: *The article presents examples of the use of computer simulation methods acoustic phenomena in the process of strategic noise maps. The article presents a comparison of test results obtained in computer simulations and measurements in the environment.*

Key words: *noise simulation methods, noise map*