

Małgorzata Orczyk
Politechnika Poznańska
Instytut Silników Spalinowych i Transportu

Franciszek Tomaszewski
Politechnika Poznańska
Instytut Silników Spalinowych i Transportu

MODELOWANIE HAŁASU DROGOWEGO WOKÓŁ AUTOSTRADY A2 NA ODCINKU KOMORNIKI – KRZESINY

Streszczenie: W artykule przedstawiono model prognozowania hałasu wokół autostrady A2 na odcinku Komorniki – Krzesiny. Model opracowano na podstawie rejestracji poziomów dźwięku w trzech etapach badań związanych z fazami eksploatacji autostrady (pomiar tła akustycznego – bez ruchu pojazdów, pomiary po oddaniu odcinka Komorniki – Krzesiny do eksploatacji oraz pomiary hałasu po uruchomieniu nowego odcinka autostrady Nowy Tomyśl – Konin). Opracowany model został zweryfikowany w oparciu o rzeczywistą liczbę pojazdów, które przejechały przez odcinek Komorniki – Krzesiny w losowo wybranym dniu i godzinie.

Słowa kluczowe: hałas drogowy, autostrada, modelowanie hałasu, dyfrakcja

1. WPROWADZENIE

Wśród wielu rodzajów działalności człowieka, przyczyniających się w dużym stopniu do degradacji środowiska naturalnego, istotne miejsce zajmuje transport szczególnie transport drogowy [4]. Zagrożenie środowiska powodowane przez motoryzację zalicza się współcześnie do najbardziej zauważalnych uciążliwości rozwoju cywilizacji. Decyduje o tym masowość pojazdów, intensywność i powszechność ich użytkowania. Rozwój motoryzacji, wywołany jej atrakcyjnością, przyczynił się stosunkowo szybko do zachwiania równowagi w naturalnym środowisku człowieka. Obecnie szacuje się, że, w miastach wzrost ruchu samochodowego o około 10% powoduje dwukrotny wzrost czasu ich przejazdu, wzrost zużycia paliw i emisji substancji toksycznych o około 25% i zmniejszenie prędkości komunikacji autobusowej o około 30% [7]. W zakresie oddziaływania hałasu w środowisku prowadzone badania monitoringu hałasu przez organy Inspekcji Ochrony Środowiska wykazały, że liczba osób zagrożonych hałasem w Polsce

zawiera się w granicach $13 \div 15$ mln, a w porze dziennej średni równoważny poziom dźwięku w centrum dużych miast przekracza $L_{Aeq, dzień} = 70$ dB [3].

W artykule przedstawiono model prognozowania poziomów dźwięku na odcinku autostrady Komorniki – Krzesiny będącej fragmentem płatnej autostrady A2 Świecko – Kukuryki. Model opracowano dla specyficznego usytuowania omawianego odcinka autostrady: jezdnia położona w wykopie oraz przebieg przez tereny aglomeracji miasta Poznań, Lubonia i Komornik.

2. MODEL PROGNOZOWANIA HAŁASU AUTOSTRADY UWZGLĘDNIAJĄCY ZJAWISKO DYFRAKCJI

Intensywny rozwój miast, przemysłu, sieci komunikacyjnych oraz lotnisk niesie ze sobą oprócz niewątpliwych korzyści gospodarczych wiele ujemnych zjawisk. Jednym z nich jest zwiększanie się emisji i zasięgu hałasu komunikacyjnego i przemysłowego na tereny zurbanizowane. Imisja hałasu na terenach osiedlowych i rekreacyjnych osiągnęła obecnie tak duży stopień, że przydatność ich do celów, do których zostały przeznaczone, znacznie zmalała.

Prognozowanie poziomów dźwięku w środowisku polega na oszacowaniu pewnej wielkości charakteryzującej hałas pochodzący od określonego źródła, a występujący na danym obszarze układu urbanistycznego. Do postawienia prognozy niezbędna jest znajomość zależności lub zbioru zależności wiążących parametr opisujący rozchodzenie się dźwięku w środowisku z właściwościami źródła dźwięku, które wpływają na powstanie hałasu oraz właściwościami rozpatrywanej przestrzeni urbanistycznej.

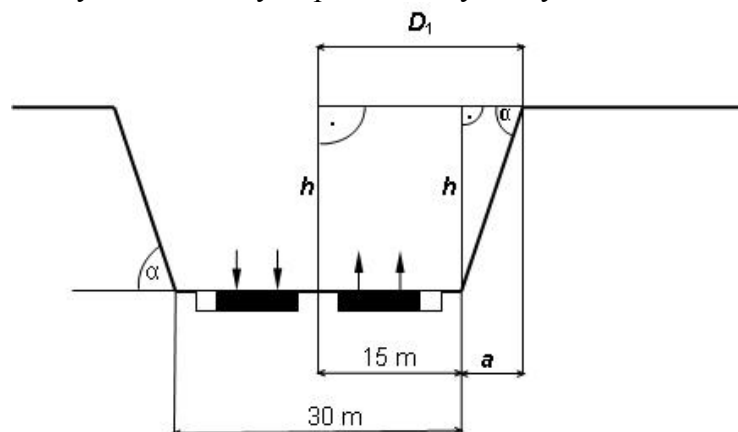
Matematyczny model hałasu, można zdefiniować jako formę przyporządkowania zbiorowi parametrów wejściowych, charakteryzujących źródło dźwięku oraz przestrzeń propagacji, odpowiedniego zbioru parametrów wyjściowych, które określają wskaźniki oceny hałasu takie jak np. poziom dźwięku L_A czy równoważny poziom dźwięku $L_{Aeq,T}$ [1, 5, 6,].

2.1. Założenia modelu

Przystępując do procesu tworzenia matematyczno-fizycznego modelu prognozowania hałasu w środowisku autostrady rozpatrzono dwa aspekty. W pierwszej kolejności określono rodzaj modelu opisującego źródło dźwięku a następnie uwzględniono wpływ zjawiska dyfrakcji, które ze względu na usytuowanie jezdni autostrady w wykopie ma wpływ na propagację dźwięku w środowisku.

Pomiary poziomów dźwięku na podstawie, których opracowano model prowadzono dla czterech głębokości wykopu autostrady: 2,50 m, 4,30 m i 7,15 m. Punkty pomiarowe były lokalizowane według następującego algorytmu: pomiar pierwszy w odległości 1 m od jezdni autostrady, pomiar drugi 1 m od krawędzi skarpy, kolejne punkty pomiarowe były oddalane od środka autostrady (pasa rozdziału pomiędzy jezdniami) i zawierały się w przedziale od 10 m do 100 m.

Kolejnym etapem prac nad opracowaniem modelu było ustalenie dającego się sformalizować opisu sytuacji drogowej oraz podstawowych wymiarów elementów drogi wynikających z budowy autostrady A2 na odcinku Komorniki – Krzesiny. Na rysunku 1 przedstawiono schemat przekroju poprzecznego fragmentu autostrady A2 na odcinku Komorniki – Krzesiny z zaznaczonymi podstawowymi wymiarami elementów drogi.



Rys. 1. Schemat przekroju poprzecznego autostrady A2 na odcinku Komorniki – Krzesiny
 α – kąt pochylenia skarpy dla odcinka A2 Komorniki – Krzesiny $\alpha = 60^\circ$, h – głębokość wykopu,
 a – odległość krawędzi wykopu do korony drogi, D_1 – odległość krawędzi skarpy do geometrycznego środka autostrady

Dla modelu przyjęto następujące założenia:

- pojazdy poruszają się po prostym odcinku drogi ruchem jednostajnym,
- model nie uwzględnia podziału na kategorie pojazdów (osobowe, ciężarowe) oraz ich prędkości,
- w modelu zastępuje się zbiór rzeczywistych źródeł punktowych stacjonarnym źródłem liniowym,
- wszystkie odległości punktów pomiarowych liczone są od środka autostrady znajdującego się na pasie rozdzielającym jezdnie.
- rozważania ogranicza się do przypadku ugięcia fali akustycznej, która napotyka na swojej drodze przeszkodę w postaci ściany wykopu,
- parametrami wejściowymi modelu są następujące parametry: natężenie ruchu wszystkich pojazdów, które przejechały przez odcinek autostrady w obu kierunkach w jednostce czasu Q , odległość punktu pomiarowego od środka autostrady znajdującego się w pasie rozdzielającym jezdnie r_{odl} oraz równoważny poziom dźwięku zmierzony przy krawędzi skarpy $L_{Aeq,skarpy}$.

2.2. Konstrukcja modelu

Istotą procesu formułowania modelu emisji dźwięku jest poszukiwanie określonych związków między wielkościami charakteryzującymi obiekt (źródło dźwięku) a parametrami pola akustycznego w jego otoczeniu, które pozwalają na ocenę uciążliwości jego oddziaływania. Dla przypadku, gdy jezdnia autostrady usytuowana jest w wykopie

przyjęto następujący ogólny model prognozowania równoważnego poziomu dźwięku przy uwzględnieniu zjawiska dyfrakcji:

$$L_{Aeq,T} = L_{Aeq} - \Delta L \quad (1)$$

gdzie:

- $L_{Aeq,T}$ – równoważny poziom dźwięku uwzględniający zjawisko dyfrakcji,
- L_{Aeq} – równoważny poziom dźwięku bez uwzględnienia zjawiska dyfrakcji,
- ΔL – różnica poziomu dźwięku spowodowana zjawiskiem dyfrakcji.

Prognozowana wartość równoważnego poziomu dźwięku $L_{Aeq,T}$ w punkcie odbioru zależy od następujących czynników: natężenia ruchu na autostradzie Q , odległości źródła dźwięku od odbiorcy r_{odl} oraz różnicy poziomów dźwięku wynikającej z ugięcia fali akustycznej na krawędzi wykopu ΔL . Model ogólny przyjął, więc następującą postać:

$$L_{Aeq,T} = [10 \log(Q) - 10 \log(r_{odl}) + C] - \Delta L \quad (2)$$

gdzie:

- Q – natężenie ruchu na autostradzie,
- r_{odl} – odległość punktu pomiarowego od źródła dźwięku,
- C – stała,
- ΔL – różnica poziomu dźwięku spowodowana zjawiskiem dyfrakcji.

Zakładając, że hałas generowany przez przejeżdżające przez autostradę pojazdy można potraktować jako wypadkowy sygnał składający się z sygnałów elementarnych, na które składają się jadące samochody osobowe i ciężarowe. Wielkości mierzonego poziomu dźwięku zależą w takim przypadku od ilości i poziomu ekspozycji poruszających po odcinku autostrady poszczególnych kategorii pojazdów (osobowych i ciężarowych) z tego powodu zależność (2) rozpisano następująco:

$$L_{Aeq,T} = [10 \log(Q_1 \cdot \alpha_1 + Q_2 \cdot \alpha_2 + \alpha_0) - 10 \log(r_{odl}) + 10 \log(C)] - \Delta L \quad (3)$$

gdzie:

- Q_1, Q_2 – natężenie ruchu samochodów osobowych i ciężarowych,
- α_1, α_2 – ekspozycyjny poziom dźwięku pojedynczego pojazdu osobowego i ciężarowego,
- α_0 – poziom tła akustycznego,
- r_{odl} – odległość punktu pomiarowego od źródła dźwięku,
- C – stała,
- ΔL – różnica poziomu spowodowana zjawiskiem dyfrakcji.

Ze względu na duże natężenie ruchu na autostradzie ok. 1000 pojazdów na godzinę oraz skomplikowaną sytuację drogową (cztery pasy ruchu) założono, że model nie będzie uwzględniał podziału pojazdów na poszczególne kategorie. W związku z tym zależność (3) przybrała postać:

$$L_{Aeq,T} = \left\{ \left[10 \log(Q \cdot \alpha + 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,TLA}}) - \log\left(\frac{r_{odl}}{C}\right) \right] \right\} - \Delta L \quad (4)$$

Dokonując podstawienia $\alpha = \frac{C}{r_{odl}}$ otrzymano wynikową postać modelu według, której można prognozować poziomy dźwięku w środowisku autostrady bez uwzględnienia zjawiska dyfrakcji:

$$L_{Aeq,T} = \left[10 \log\left(C \cdot \frac{Q}{r_{odl}} + 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,TLA}}\right) \right] \quad (5)$$

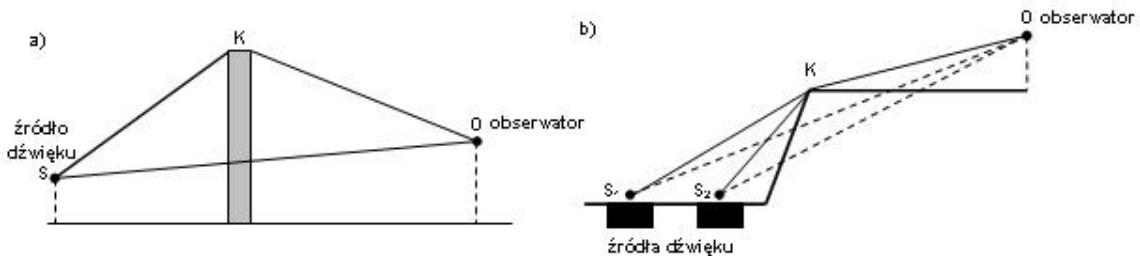
Stałą C w zależności (5) wyznacza się osobno dla każdej głębokości wykopu dokonując uprzednio pomiaru poziomego dźwięku i natężenia ruchu przy krawędzi skarpy autostrady. Stałą C wyznacza się przekształcając zależność (5) do postaci:

$$C = \frac{r_{sk}}{Q_{sk}} \left(10^{0,1 \cdot L_{Aeq,SKARPY}} - 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,TLA}} \right) \quad (6)$$

gdzie:

- r_{sk} – odległość punktu pomiarowego zlokalizowanego przy krawędzi skarpy do geometrycznego środka autostrady,
- Q_{sk} – natężenie ruchu pojazdów na autostradzie podczas pomiaru poziomego dźwięku przy krawędzi skarpy ,
- $L_{Aeq,SKARPY}$ – równoważny poziom dźwięku zmierzony przy krawędzi skarpy,
- $L_{Aeq,TLA}$ – poziom tła akustycznego $L_{Aeq,TLA} = 51$ dB.

Kolejnym krokiem w konstrukcji modelu było uwzględnienie zjawiska dyfrakcji na propagację dźwięku w środowisku. Ze względu na położenie jezdni autostrady A2 na odcinku Komorniki – Krzesiny w wykopie, ścianę wykopu potraktowano jako ekran akustyczny zakładając, że fala akustyczna ulega ugięciu na krawędzi wykopu. Na rysunku 2 przedstawiono ogólne schematy ugięcia fali akustycznej na krawędzi ekranu akustycznego oraz do omawianego przypadku usytuowania jezdni autostrady.



Rys. 2. Schematy ugięcia fali akustycznej napotykającej przeszkodę a) w odniesieniu do ekranu akustycznego, b) w odniesieniu do wykopu

Do dalszych obliczeń związanych z określeniem wpływu zjawiska dyfrakcji na propagację dźwięku w środowisku przyjęto przybliżenie Maekawy, które zakłada, że skuteczność ekranu akustycznego związana jest ze stopniem załamania fali akustycznej na jego krawędziach i zależy od liczby Fresnela. Wartość liczby Fresnela wyznacza się z następującej zależności:

$$N = \frac{2 \cdot f \cdot \Delta r}{c} \quad (8)$$

gdzie:

- f – częstotliwość pasma, dla którego poziom dźwięku korygowany charakterystyką A przyjmuje wartość maksymalną $f = 1000$ Hz,
- Δr – różnica dróg propagacji fali ugiętej na krawędzi $SK + KO$ oraz fali bezpośredniej SO rys. 2, $\Delta r = SK + KO - SO$,
- c – prędkość propagacji dźwięku w powietrzu $c = 340$ [m/s].

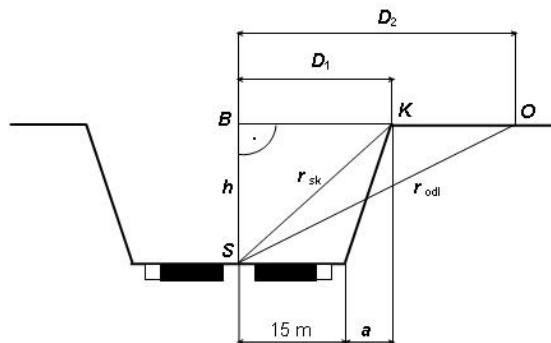
Skuteczność półpłaszczyzny ekranu akustycznego będącego w rozważanym przypadku ścianą wykopu opisuje następująca zależność:

$$\Delta L = 10 \log(3 + 20N) \quad (7)$$

gdzie:

N – liczba Fresnela

Równocześnie przyjęto następujący schemat – rysunek 3 (wynikający z budowy autostrady A2 na odcinku Komorniki – Krzesiny) służący do wyznaczania poszczególnych odległości Δr .



Rys. 3. Schemat przekroju poprzecznego autostrady A2 na odcinku, Komorniki – Krzesiny, według którego należy szacować odległości Δr
 h – głębokość wykopu [m], SK, KO, SO – wielkości geometryczne związane z wyznaczeniem dróg propagacji fali akustycznej, D_1 – odległość krawędzi skarpy od geometrycznego środka autostrady, D_2 – odległość punktu pomiarowego od geometrycznego środka autostrady

Ostateczna postać modelu pozwalającego prognozować poziom dźwięku w środowisku autostrady przebiegającej w wykopie, a opracowanej w oparciu o parametry autostrady A2 na odcinku Komorniki – Krzesiny przedstawia zależność:

$$L_{Aeq,T} = \left[10 \log \left(C \cdot \frac{Q}{r_{odl}} + 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,TLA}} \right) \right] - 10 \log(3 + 20N) \quad (9)$$

Dla określonej odległości r_{odl} i natężenia ruchu na autostradzie Q w pierwszej kolejności wyznacza się równoważny poziom dźwięku bez uwzględnienia dyfrakcji. Następnie z zależności na obliczenie ΔL zależność (7) uzyskuje się różnicę poziomów dźwięku spowodowaną zjawiskiem dyfrakcji.

3. WERYFIKACJA

Dla opracowanego matematyczno-fizycznego modelu prognozowania poziomów dźwięku uwzględniając zjawisko dyfrakcji dokonano weryfikacji przedstawionego modelu z wynikami uzyskanymi z pomiarów hałasu w dwóch etapach badań: w roku 2004 i 2005. W tabelicy 1 przedstawiono przykładowe porównanie wyników dziennych równoważnych poziomów dźwięku wykonanych w trzech okrasach pomiarowych z wynikami uzyskanymi z opracowanego matematyczno-fizycznego modelu dla głębokości wykopu: $h = 2,85$ m.

Tablica 1

Porównanie wyników pomiarów z wynikami uzyskanymi z modelu dla głębokości $h = 2,85$

Okres pomiarowy	Odległość [m]	I ETAP BADAŃ			II ETAP BADAŃ		
		Pomiary [dB]	Model [dB]	Błąd wzgl. Aproksymacji [%]	Pomiary [dB]	Model [dB]	Błąd wzgl. Aproksymacji [%]
I okres	17	75	70	7	78	73	6
	40	54	58	7	57	61	7
	45	53	58	9	54	61	13
	69	50	55	10	56	58	4
	100	49	52	6	55	55	0
II okres	17	73	68	7	76	71	7
	40	59	56	5	58	59	2
	45	58	56	3	56	59	5
	69	57	53	7	54	56	4
	100	53	50	6	55	53	4
III okres	17	69	64	7	76	71	7
	40	55	52	5	60	59	2
	45	53	52	2	57	59	4
	69	54	49	9	55	56	2
	100	47	47	0	52	53	2

4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono matematyczno-fizyczny model prognozowania poziomów dźwięku dla odcinka autostrady A2 Komorniki – Krzesiny. W modelu założono, że pojazdy poruszają się po prostym odcinku drogi, ze stałą prędkością, nie uwzględniając podziału pojazdów na poszczególne kategorie, wszystkie odległości pomiarowe liczone są od krawędzi skarpy do około 100 m od jezdni autostrady oraz uwzględniono wpływ zjawiska dyfrakcji na propagację dźwięku w środowisku.

Parametrami wejściowymi w modelu były następujące parametry: odległość od jezdni autostrady, natężenie ruchu na autostradzie oraz równoważny poziom dźwięku zmierzony przy krawędzi skarpy.

Opracowany model oraz przeprowadzona weryfikacja pozwalają wysunąć następujące wnioski: błąd względny aproksymacji odniesiony do wykonanych pomiarów w I etapie badań (rok 2004) nie przekroczył 20%, natomiast w II etapie badań – w roku 2005 zmalał do około 10%.

Przy zastosowaniu opracowanego modelu błąd względny aproksymacji przy krawędzi skarp nie przekroczył 10% [2].

Dalsze prace z zakresu modelowania i prognozowania hałasu w środowisku autostrady, powinny uwzględniać różne ukształtowanie terenu wokół autostrady a także stosunek samochodów ciężarowych i osobowych poruszających się po autostradzie. Istniejące liczniki autostradowe rozróżniają te dwie klasy pojazdów, co może być przydatne przy dokładnym szacowaniu dźwięku w otoczeniu autostrady.

Bibliografia

1. Makarewicz R., Podstawy teoretyczne akustyki urbanistycznej. Wyd. PWN, Warszawa – Poznań, 1984.
2. Orczyk M., Analiza i ocena wpływu natężenia ruchu drogowego na poziom hałasu w otoczeniu autostrady A2 na odcinku Komorniki – Krzesiny. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań, 2007.
3. Orczyk M., Tomaszewski F., Diagnozowanie zmian klimatu akustycznego na odcinku autostrady A2 Komorniki – Krzesiny. Diagnostyka, nr 4(52)/2009, s. 105 – 108.
4. Pawłowska B., Zewnętrzne koszty transportu problem ekonomicznej wyceny. Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2000.
5. Rudno-Rudzińska B., Modelowanie emisji i propagacji dźwięku do prognozowania klimatu akustycznego środowiska zurbanizowanego. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1994.
6. Sadowski J., Podstawy akustyki urbanistycznej. Wyd. Arkady, Warszawa, 1982.
7. Wójciak J., Nowoczesne konstrukcje torowisk tramwajowych i ich znaczenie dla eksploatacji tras tramwajowych. Biuletyn Komunikacji Miejskiej, nr 98/2007, s. 58 – 61.

MODELING OF ROAD NOISE AT MOTORWAY A2 ON SECTION KOMORNIKI – KRZESINY

Abstract: This article presents a model of forecasting noise at Motorway A2 on section Komorniki – Krzesiny. This model was worked out on the basis of registration of sound levels in three stages of research connected with phases of using the motorway (measurement of acoustic background without traffic, measurement after opening section Komorniki – Krzesiny and measurement after opening section Nowy Tomyśl – Konin). The worked out model was verified on the basis of actual number of vehicles, which passed by on section Komorniki – Krzesiny on a random day and at random hour.

Keywords road noise, motorway, modeling of noise, diffraction