

dy ze spalania osadów ściekowych w piecu rusztowym oraz ich mieszanina z piaskiem spełniają wszystkie wymagania dotyczące odpadów wbudowywanych w budowlę ziemne.

## Wnioski

- Odpady ze spalania osadów w kotle z rusztem mechanicznym charakteryzują się grubszym uziarnieniem niż popioły uzyskiwane ze spalania osadów w piecach fluidalnych. Udział metali ciężkich w odpadach ze spalania osadów w piecach rusztowych jest dużo mniejszy od ich zawartości w popiołach z pieców fluidalnych. Odpady te są zatem korzystniejszym materiałem do wbudowywania w nasypy niż odpady ze spalania osadów w złożu fluidalnym.

- Rezultaty badań właściwości geotechnicznych oraz składu chemicznego wskazały na możliwość zastosowania odpadów ze spalania komunalnych osadów ściekowych w piecach rusztowych jako materiału na nasypy drogowe. Odpady spełniają wymagania normowe dotyczące odpadów

energetycznych wbudowywanych w nasypy komunikacyjne. Wymagania te spełnia także mieszanina odpadów z piaskiem w stosunku 3 : 7, w przypadku której stwierdzono wyższą wartość CBR, ale niższą wytrzymałość na ścinanie w porównaniu z odpadami w stanie naturalnym.

- Odpady ze spalania osadów ściekowych powinny być wbudowywane w miejsca odizolowane od wody gruntowej i opadowej ze względu na stosunkowo małą wartość CBR nasączonych odpadów. Wskazuje na to również możliwość wymywania metali ciężkich z odpadów. Mieszanie odpadów z piaskiem można wbudowywać bezpośrednio w warstwy nasypu, ze względu na niższą zawartość w nich metali ciężkich, jak również wyższą wartość CBR i mniejszą jego redukcję po nasączeniu mieszaniny wodą niż w przypadku odpadów ze spalania osadów ściekowych.

## Literatura

[1] Uchwała nr 217 Rady Ministrów z 24 grudnia 2010 r. w sprawie „Krajowego planu gospodarki odpadami 2014”. Monitor Polski nr 101, poz. 1183.

[2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 21 marca 2006 r. w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami. Dz.U. 2006 r. nr 49, poz. 356.

[3] Słupski W., Technologia wykonywania nasypów komunikacyjnych z odpadów energetycznych (wytyczne), IBDiM, Warszawa 1981.

[4] Zabielska-Adamska K., Produkt spalania komunalnych osadów ściekowych jako grunt antropogeniczny, Rocznik Ochrona Środowiska, Vol. 17, 2015, 1286 – 1305.

[5] Kosior-Kazberuk M., Application of SSA as partial replacement of aggregate in concrete, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 20, 2011, 365 – 370.

[6] Cyr M., Coutand M., Clastes P., Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (SSA) in cement-based materials, Cement and Concrete Research, Vol. 37, 2007, 1278 – 1289.

[7] Zabielska-Adamska K., Popiół lotny jako materiał do budowy warstw uszczelniających, Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 2006.

[8] Białowiec A., Janczukowicz W., Krzemieniowski M., Możliwości zagospodarowania popiołów po termicznym unieszkodliwianiu osadów ściekowych w aspekcie regulacji prawnych, Rocznik Ochrona Środowiska, Vol. 11, 2009, 959 – 971.

Przyjęto do druku: 04.05.2015 r.

dr hab. inż. Władysław Gardziejczyk, prof. nzw.<sup>1\*)</sup>  
mgr inż. Marek Motylewicz<sup>1)</sup>

# Przebudowa dróg i ulic a klimat akustyczny w ich otoczeniu

## *Reconstruction of roads and streets and the acoustic climate in their surroundings*

DOI: 10.15199/33.2015.07.26

(Studium przypadku)

**Streszczenie.** Przebudowa dróg i ulic z zastosowaniem odpowiednich środków, metod i technologii może prowadzić do znacznego obniżenia poziomu hałasu od ruchu samochodowego w ich otoczeniu. Budowa obwodnic wyprowadzających ruch tranzytowy pojazdów ciężarowych poza obszary zabudowy, ekranów akustycznych, wałów ziemnych czy „cichych nawierzchni” mogą zredukować poziom hałasu od kilku do kilkunastu decybeli. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów równoważnego poziomu dźwięku w otoczeniu skrzyżowania typu rondo, drogi z wybudowanymi ekranami oraz drogi z nawierzchnią o różnej charakterystyce wykazano, że w zależności od przyjętego rozwiązania uzyskano obniżenie poziomu hałasu od ruchu drogowego od 5,0 dB do 12,8 dB.

**Słowa kluczowe:** przebudowa dróg i ulic, równoważny poziom dźwięku, hałas drogowy.

**Abstract.** Reconstruction of roads and streets with the use of right means, methods and technologies may lead to a significant reduction of traffic noise level in their surroundings. The construction of bypasses which move heavy vehicles outside built-up areas, the construction of noise barriers and noise protection embankments or the construction of a "silent pavements" can reduce the noise level at the recipient from a few to several decibels. On the basis of the measurements of equivalent sound level carried out in the surroundings of roundabout, road with the noise barriers and road with different pavement characteristics, it has been shown, that depending on the applied solution, the reduction of traffic noise levels varied from 5.0 dB to 12.8 dB.

**Keywords:** reconstruction of roads and streets, equivalent noise level, traffic noise.

Przebudowa dróg i ulic jest podyktowana zwykle poprawą bezpieczeństwa ruchu drogowego, zwiększeniem przepustowości

oraz płynności i komfortu jazdy. Jednym z ważniejszych zagadnień przy jej realizacji jest spełnienie wymagań dotyczących ochrony środowiska, przede wszystkim hałasu od ruchu samochodowego.

Ochrona przed hałasem drogowym polega na utrzymaniu równoważnego poziomu

dźwięku w otoczeniu tras drogowych na poziomie nieprzekraczającym wartości dopuszczalnych. Działania ograniczające ujemny wpływ transportu na klimat akustyczny:

- zmniejszenie natężenia ruchu i udziału pojazdów ciężarowych, obniżenie prędkości jazdy, zarządzanie ruchem;

<sup>1)</sup> Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji;  
e-mail: w.gardziejczyk@pb.edu.pl

■ zmiana przekroju podłużnego i poprzecznego trasy drogowej oraz jej geometrii i organizacja ruchu na skrzyżowaniach;

■ stosowanie zabezpieczeń przeciwhałasowych (ekrany akustyczne, izolacje dźwiękochłonne);

■ budowa nawierzchni „cichych”.

Wybór metody obniżenia hałasu zależy od obciążenia ruchem samochodowym, charakterystyki drogi, zagospodarowania przyległego terenu oraz wartości przekroczenia dopuszczalnego poziomu dźwięku.

W artykule wykazano, w jakim stopniu zastosowana metoda „walki z hałasem” może wpłynąć na obniżenie jego poziomu w otoczeniu drogi. Analizowano następujące rozwiązania:

- przeniesienie ruchu tranzytowego poza obszar zabudowy w wyniku budowy obwodnicy;

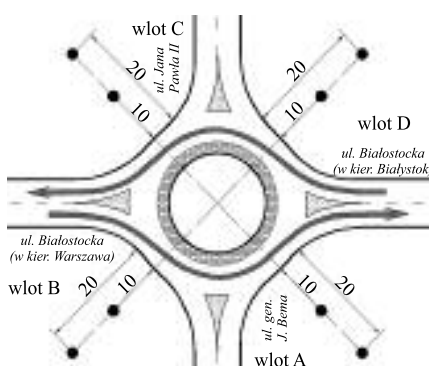
- budowa ekranów akustycznych;

- przebudowa nawierzchni drogowej na nawierzchnię „cichą”.

### Klimat akustyczny w otoczeniu skrzyżowania po wybudowaniu obwodnicy Zambrowa

Skrzyżowania drogowe, z uwagi na przerywany charakter ruchu oraz większe jego natężenie, są źródłem większego poziomu hałasu w porównaniu z odcinkami międzywęzłowymi. Szczególnym problemem jest ruch wieloczlonych pojazdów ciężarowych, które oprócz stwarzanych utrudnień związanych z przejezdnością, przyczyniają się do zwiększenia poziomu hałasu w rejonie skrzyżowań. Przeniesienie ruchu tranzytowego na obwodnicę przyczynia się w istotny sposób do poprawy klimatu akustycznego w otoczeniu skrzyżowań, co wykazano na przykładzie jednopasmowego ronda średnicy zewnętrznej 31 m, położonego przed budową obwodnicy Zambrowa w woj. podlaskim w ciągu drogi krajowej nr 8 (rysunek 1).

Pomiary równoważnego poziomu dźwięku ( $L_{Aeq}$ ) przeprowadzono w 2012 r. (przed oddaniem obwodnicy Zambrowa do eksploatacji) i w 2013 r. po przeniesieniu ruchu tranzytowego na obwodnicę. Mierzono:  $L_{Aeq}$  w jednogodzinnych okresach, na wysokości 1,2 m i w odległości 10 i 20 m od krawędzi jezdni ronda oraz natężenie i strukturę rodzajową ruchu. Oddanie do eksploatacji obwodnicy Zambrowa spowodowało zmniejszenie



Rys. 1. Rondo w miejscowości Zambrow – położenie punktów pomiaru hałasu

Fig. 1. Roundabout in the Zambrow town – location of the noise measurement points

ruchu na badanym rondzie o ok. 45% oraz liczby pojazdów ciężarowych o ok. 80%. Na podstawie wyników pomiarów hałasu i natężenia ruchu przeprowadzonych przed i po wybudowaniu obwodnicy stwierdzono, że przeniesienie ruchu tranzytowego na obwodnicę przyczyniło się do obniżenia wartości równoważnego poziomu dźwięku średnio o 5,6 dB w odległości 10 m od krawędzi jezdni badanego ronda oraz średnio o 5,0 dB w odległości 20 m. Przy obciążeniu ronda ruchem 1000 pojazdów rzeczywistych w ciągu jednej godziny i przy zmianie udziału pojazdów ciężarowych z 16% (przed wybudowaniem obwodnicy) do 8% (po wybudowaniu obwodnicy) zanotowano obniżenie  $L_{Aeq}$  w odległości 10 m od krawędzi jezdni z 68,1 do 62,5 dB.

### Ekran akustyczny jako sposób na obniżenie hałasu w otoczeniu dróg

Ekran akustyczny jest jednym z głównych sposobów ochrony przestrzeni przed hałasem drogowym. Po ich wybudowaniu redukcja poziomu hałasu może osiągnąć wartość 10 ÷ 15 dB w przypadku ekranów wysokich (powyżej 6,0 m), w przedziale 8 ÷ 10 dB w przypadku ekranów średnich (3,5 – 5,0 m) i poniżej 8 dB w przypadku ekranów niskich (poniżej 3,5 m) [1]. Istotnymi czynnikami decydującymi o skuteczności ekranu są: parametry geometryczne (kształt, długość, wysokość i szerokość), lokalizacja w stosunku do drogi i obszaru chronionego, ciągłość oraz zastosowane materiały i technologia wykonania.

Analizę skuteczności ekranów akustycznych zbadano na przykładzie otoczenia drogi krajowej nr 8 na dwóch wytypowa-

nych odcinkach. Na odcinku Białystok – Jeżewo wyznaczono trzy przekroje pomiarowe (rysunek 2): dwa w miejscu wybudowanych ekranów podczas przebudowy drogi (E1 i E2) oraz jeden przekrój porównawczy bez ekranu (E3). Na odcinku Białystok – Katryńka wyznaczono dwa przekroje: jeden z ekranem (E4) i jeden porównawczy bez ekranu (E5). Lokalizacja przekrojów pomiarowych i charakterystyka ekranów:

- przekrój E1: km 627 + 090P (strona prawa), wysokość i długość ekranu: 4,7 m i 310,0 m;

- przekrój E2: km 627 + 720P, wysokość i długość ekranu: 2,7 m i 250,0 m;

- przekrój E3: km 627 + 425P, przekrój porównawczy bez ekranu;

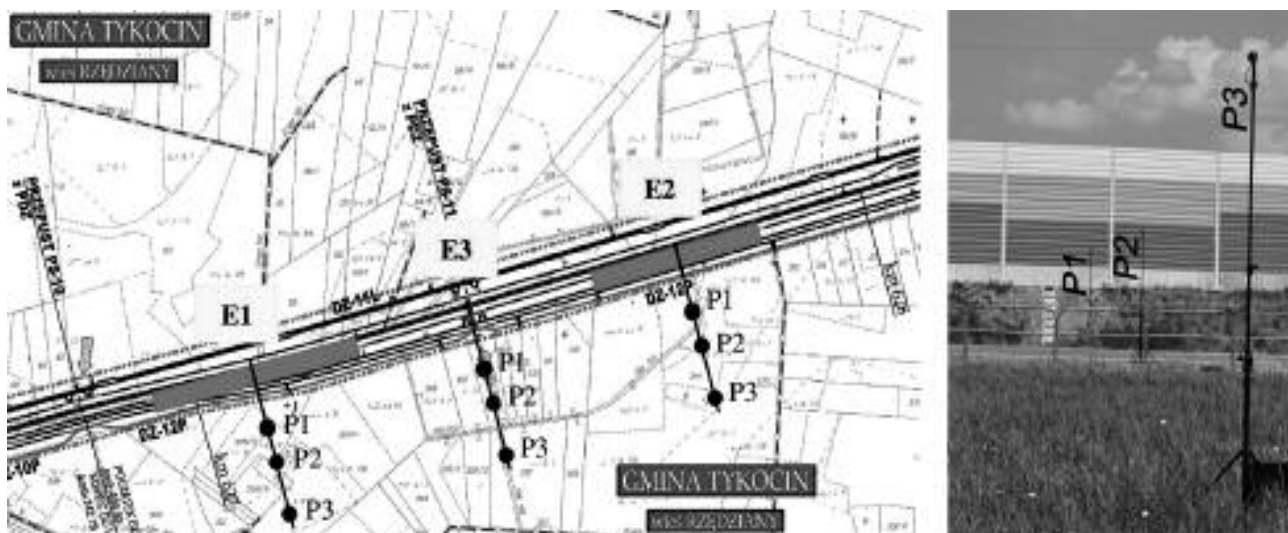
- przekrój E4: km 648 + 820L (strona lewa), wysokość i długość ekranu: 3,0 m i 450,0 m;

- przekrój E5: km 649 + 640L, przekrój porównawczy bez ekranu.

W każdym przekroju E1, E2 i E3 założono trzy punkty pomiarowe położone w jednakowej odległości od krawędzi zewnętrznego pasa ruchu: P1 = 14,2 m; P2 = 29,2 m oraz P3 = 54,2 m (odpowiednio 10 m, 25 m i 50 m za ekranem w przekrojach E1 i E2). W przekrojach E4 i E5 założono jeden punkt pomiarowy P4 w odległości 30,0 m od krawędzi zewnętrznego pasa ruchu (położony 24,6 m za ekranem w przekroju E4). Pomiary  $L_{Aeq}$  prowadzono w 1-godzinnych okresach na wysokości 1,2 m nad nawierzchnią drogi. Badania wykonywano przy takim samym obciążeniu ruchem samochodowym. W tabeli podano wyniki pomiarów  $L_{Aeq}$ , które potwierdzają redukcję hałasu w wyniku zastosowania ekranów akustycznych o 5,0 ÷ 12,8 dB. Na skuteczność ekranowania wpływ miała zarówno wysokość ekranu, jak i odległość odbiorcy od drogi.

### Wpływ nawierzchni drogowej na obniżenie poziomu hałasu w otoczeniu drogi

Warstwa ścieralna nawierzchni drogowej ma istotny wpływ na poziom hałasu otoczenia pojazdów samochodowych. Dotyczy to przede wszystkim pojazdów osobowych poruszających się z prędkością co najmniej 50 km/h oraz pojazdów ciężarowych – powyżej 70 km/h. Właściwie zaprojektowane, wykonane i utrzymane nawierzchnie „ciche” w skuteczny sposób przyczyniają się do obniżenia emitowanego hałasu to-



Rys. 2. Lokalizacja przekrojów i punktów pomiarowych, DK8, odcinek Białystok – Jeżewo. Opracowanie Autorów na podstawie dokumentacji Transprojekt Gdańsk Sp. z o.o.

Fig. 2. Measurement's cross-section and points location, national road No. 8, section: Białystok – Jeżewo

czenia, a w przypadkach przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu do ok. 5 dB mogą być stosowane zamiast ekranów akustycznych [2].

Analizę wpływu rodzaju warstwy ścieralnej na poziom hałasu drogowego pokazano na przykładzie pomiarów równoważnego poziomu dźwięku na przebudowanym w 2010 r. odcinku drogi wojewódzkiej nr 780 w województwie małopolskim, przeprowadzonych przez zespół z Politechniki Białostockiej w 2011 r. Pomiaru  $L_{Aeq}$  wykonano w odległości 10 m od krawędzi jezdni i na wysokości 4,0 m w tym samym czasie w dwóch przekrojach badawczych, przy czym na pierwszym odcinku była nawierzchnia typu SMA11, a na drugim – nawierzchnia z betonu asfaltowego do bardzo cienkich warstw (BBTM8). Przy obciążeniu ruchem ok. 500 P/h i udziale pojazdów ciężarowych 7,5% ustalono:

- w otoczeniu odcinka drogi o nawierzchni SMA11:  $L_{Aeq} = 69,2$  dB;
- w otoczeniu odcinka drogi o nawierzchni BBTM8:  $L_{Aeq} = 63,1$  dB.

Zmiana nawierzchni z mastyksu grysowego SMA11 na nawierzchnię BBTM8 przyczyniła się do redukcji hałasu w otoczeniu drogi o 6,1 dB. Należy podkreślić, że tak korzystne wyniki uzyskano w pierwszym roku eksploatacji. Oznacza to, że zachowanie korzystnych właściwości akustycznych nawierzchni o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni (np. BBTM, asfalt porowaty) w dłuższym okresie użytkowania wymaga bieżącego utrzymania.

### Podsumowanie

Analiza wyników przeprowadzonych pomiarów równoważnego poziomu dźwięku w przypadku trzech metod ochrony

przed hałasem pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- przeniesienie ruchu tranzytowego pojazdów ciężarowych na obwodnicę prowadzi do istotnego obniżenia poziomu hałasu w otoczeniu ulic i skrzyżowań; zmiana udziału pojazdów ciężarowych o  $8 \div 16\%$  na rondzie w mieście Zambrów, przy natężeniu ruchu 1000 P/h, przyczyniła się do redukcji poziomu hałasu w jego otoczeniu o 5,6 dB;

- budowa ekranów akustycznych przy DK8 spowodowała redukcję hałasu o  $5,0 \div 12,8$  dB w zależności od wysokości ekranu oraz odległości odbiorcy od drogi;

- zmiana warstwy ścieralnej nawierzchni drogowej z SMA11 na nawierzchnię typu BBTM8 poprawiła klimat akustyczny w otoczeniu drogi, redukując w pierwszym roku jej eksploatacji poziom hałasu o 6,1 dB.

Odpowiedni wybór metody redukcji hałasu w ramach przebudowy dróg i ulic może spowodować istotne i pożądane obniżenie poziomu hałasu.

### Wyniki pomiarów wartości $L_{Aeq}$ przeprowadzonych w otoczeniu drogi krajowej nr 8

The results of measurements of the  $L_{Aeq}$  carried out in the surrounding of national road No. 8

Odcinek	Przekrój	Charakterystyka przekroju	Wartość $L_{Aeq}$ [dB] w punkcie pomiarowym			
			P1	P2	P3	P4
Białystok – Jeżewo	E1	ekran wysokości 4,7 m (redukcja hałasu)	57,5 (- 12,8)	57,5 (- 8,4)	56,3 (- 5,6)	–
	E2	ekran wysokości 2,7 m (redukcja hałasu)	60,3 (- 10,0)	59,0 (- 6,9)	56,9 (- 5,0)	–
	E3	bez ekranu	70,3	65,9	61,9	–
Białystok – Katryńka	E4	ekran wysokości 3,0 m (redukcja hałasu)	–	–	–	56,6 (- 11,3)
	E5	bez ekranu	–	–	–	67,9

### Literatura

- [1] Adamczyk J., Stryczniewicz L., Szatyga-Osypanka D.: Ekran akustyczny – panaceum? Drogi, nr 9/2008, s. 65 – 71.
- [2] Gardziejczyk W., Gierasimiuk P., Motylewicz M.: Nawierzchnie o obniżonej hałaśliwości na polskich drogach – wyniki badań hałasu tocznia pojazdów samochodowych. Drogownictwo, 12/2012, s. 387 – 392.

Przyjęto do druku: 12.05.2015 r.