

*KATARZYNA KIPRIAN**

*GRZEGORZ LIGUS***

Geneza i metody ograniczania hałasu drogowego – ekrany akustyczne

Praca zawiera przegląd regulacji prawnych dotyczących ochrony środowiska przed hałasem. Przedstawione również zostały podstawowe informacje o hałasie drogowym oraz mechanizmie jego powstawania. Scharakteryzowano główne rodzaje ekranów akustycznych, które stosowane są jako jedna z metod ochrony środowiska przed hałasem pochodzącym od dróg. Skupiono się w szczególności na wadach i zaletach poszczególnych rozwiązań, zasadzie ich działania oraz skuteczności.

1. Aspekty prawne

Przepisy Unii Europejskiej oraz regulacje w polskim prawodawstwie nakładają wiele obowiązków, które należy spełnić w dotrzymaniu standardów hałasowych. Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 25 czerwca 2002 r. [1], odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku (tzw. dyrektywa hałasowa), nakłada na samorzady konieczność wykonania map akustycznych i zaproponowania planów działań zmierzających do zapobiegania powstawaniu hałasu w środowisku oraz obniżania jego poziomu tam, gdzie jest to konieczne. Działania te dotyczą w szczególności tych obszarów, gdzie oddziaływanie hałasu może być szkodliwe dla ludzkiego zdrowia oraz powodować trudności w zachowaniu odpowiedniej jakości klimatu akustycznego środowiska. W polskim prawodawstwie europejska dyrektywa w sprawie ocen i zarządzania poziomem hałasu w środowisku znalazła odzwierciedlenie w:

– Ustawie z 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz.U. z 2001 r. nr 62, poz. 627 z późn. zm.;

* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Materiałowej Procesowej i Środowiska w Opolu.

** Dr inż., Politechnika Opolska.

- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 14 października 2002 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinien odpowiadać program ochrony środowiska przed hałasem, Dz.U. z 2002 r. nr 179, poz. 1498;
- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 17 stycznia 2003 r. w sprawie rodzajów wyników pomiarów prowadzonych w związku z eksploatacją dróg, linii kolejowych, linii tramwajowych, lotnisk oraz portów, które powinny być przekazywane właściwym organom ochrony środowiska oraz terminów i sposobów ich prezentacji, Dz.U. z 2003 r. nr 18, poz. 164;
- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 14 grudnia 2006 r. w sprawie dróg, linii kolejowych i lotnisk, których eksploatacja może powodować negatywne oddziaływanie akustyczne na znacznych obszarach, dla których wymagane jest sporządzanie map akustycznych oraz sposobów określania granic terenów objętych tymi mapami, Dz.U. z 2007 r. nr 1, poz. 8;
- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 4 czerwca 2007 r. w sprawie ustalania wartości wskaźnika hałasu L_{DWN} , Dz.U. z 2007 r. nr 106, poz. 729;
- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, Dz.U. z 2006 r. nr 120, poz. 826;
- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 1 października 2007 r. w sprawie szczegółowego zakresu danych ujętych na mapach akustycznych oraz ich układu i sposobu prezentacji, Dz.U. z 2007 r. nr 187, poz. 1340;
- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2 października 2007 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem, Dz.U. z 2007 r. nr 192, poz. 1392.

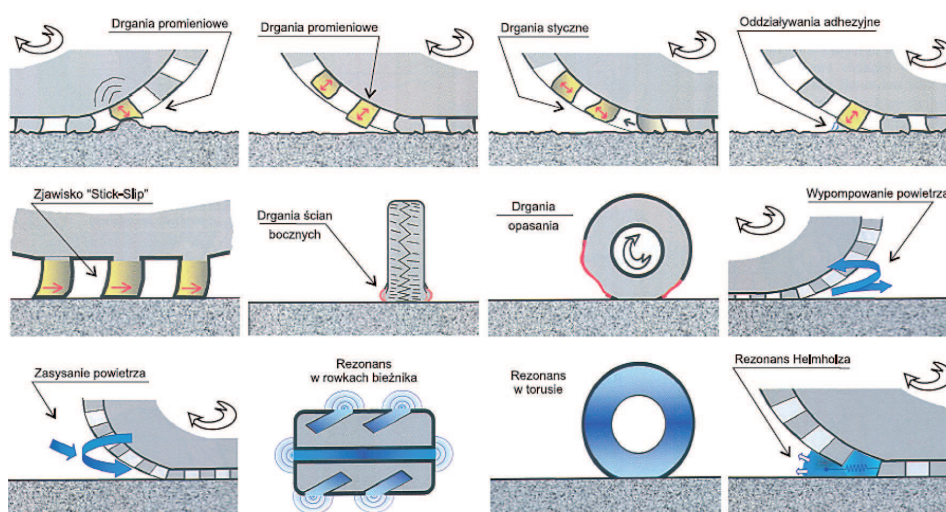
Bardzo istotnym narzędziem ochrony środowiska przed hałasem drogowym jest obowiązek sporządzania map akustycznych dla wybranych kategorii dróg. Według artykułu 179 ustawy Prawo ochrony środowiska zarządzający drogą zaliczoną do obiektów, których użytkowanie może powodować negatywne oddziaływanie akustyczne na znacznych obszarach sporządza co 5 lat mapę akustyczną dla tych terenów; ich eksploatacja może bowiem powodować przekroczenie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. Od 2007 r. wymienionym artykułem 179 objęte są drogi, po których przejeżdża ponad 6 mln pojazdów rocznie, a od 2011 r. również te o natężeniu ruchu ponad 3 mln pojazdów rocznie. Granice terenów objętych mapą akustyczną, w związku z eksploatacją tych dróg, określa się liniami rozgraniczającymi, pokrywającymi się z izoliniami, które odpowiadają wartościom długookresowego średniego poziomu dźwięku A, wyrażonego w decybelach (dB), wyznaczonego w ciągu wszystkich dób w roku (L_{DWN}) oraz wyznaczonego w ciągu wszystkich pór nocy w roku (L_N).

2. Geneza hałasu drogowego

Hałas to dźwięki słyszalne o dowolnym charakterze akustycznym niepożądane w danych warunkach, które niezależnie od częstotliwości i poziomu są szkodliwe, uciążliwe i wywołują u odbiorcy zaburzenia w organie słuchu i innych zmysłach organizmu człowieka [2]. Hałas drogowy jest nagromadzeniem emisji hałasu ze wszystkich pojazdów poruszających się w danym momencie po drodze. Źródłem generującym hałas drogowy jest pojazd mechaniczny, którego częścią składową jest silnik spalinowy. Źródła emitujące hałas można podzielić na:

- źródła główne – hałas pracującego silnika i zespołu napędowego oraz hałas od toczących się kół po nawierzchni drogi;
- źródła poboczne – hałas aerodynamiczny powstający na skutek zawirowań powietrza w czasie ruchu pojazdu oraz hałas luźno zamocowanych elementów pojazdu [3].

Rycina 1 przedstawia mechanizm powstawania hałasu drogowego związanego z toczeniem się kół po powierzchni drogi.



Ryc. 1. Podstawowe mechanizmy powstawania hałasu drogowego związane z toczeniem się kół po nawierzchni drogowej [4]

Czynnikami, które decydują o hałasie powstającym na styku opony z nawierzchnią jest przede wszystkim konstrukcja i materiał bieżnika opony. Bardzo wiele zależy od rodzaju i stanu nawierzchni drogowej, w szczególności jej nierówności, tekstury i struktury. Przeprowadzone badania wskazują, że hałas generowany przez oponę wzrasta od 0,2 do 0,4 dB przy zwiększaniu szerokości

opony o każde 10 mm. Przyjmuje się, że hałas powstający na styku opony z nawierzchnią drogową staje się źródłem dominującym przy prędkości powyżej 55 km/h w przypadku samochodów osobowych i powyżej 70 km/h w odniesieniu do samochodów ciężarowych. Poza prędkością pojazdów istotne znaczenie na emisję hałasu ma również płynność ruchu. W przypadku ruchu płynnego dominującym źródłem hałasu jest interakcja opony z nawierzchnią jezdni, podczas gdy w ruchu miejskim przeważającym źródłem hałasu będzie układ napędowy pojazdu.

Do głównych czynników mających znaczny wpływ na poziom hałasu drogowego zaliczymy więc:

- natężenie ruchu pojazdów,
- strukturę ruchu (udział tzw. pojazdów hałaśliwych, tj. samochodów ciężarowych, autobusów, motocykli),
- stan techniczny pojazdów,
- płynność ruchu (liczba pasów ruchu, liczba i rodzaj skrzyżowań),
- rodzaj, jakość i stan nawierzchni drogi,
- pochylenie drogi.

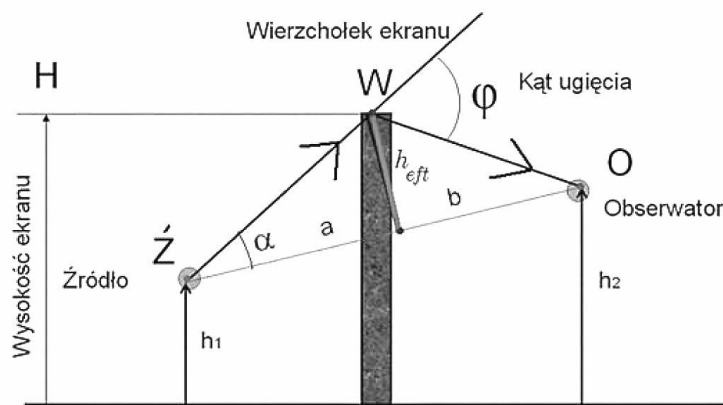
3. Mechanizm działania ekranów akustycznych

Najpopularniejszym środkiem ochrony środowiska przed hałasem pochodzącym od dróg są ekrany akustyczne. Są to naturalne lub sztuczne przeszkody ustawiane pomiędzy źródłem hałasu a odbiorcą. Głównie wały lub nasypy stanowią przegrody naturalne, jednak rozwiązania te są stosowane dość rzadko ze względu na ograniczenia terenowe. Częściej można je spotkać jako element, który ma zwiększyć skuteczność sztucznego ekranu akustycznego.

Działanie ekranu polega na wytworzeniu tzw. cienia akustycznego, czyli obszaru, do którego nie docierają bezpośrednio fale akustyczne emitowane przez źródło hałasu.

Fala dźwiękowa, napotykając na swojej drodze przeszkodę w postaci ekranu akustycznego, zostaje częściowo pochłonięta, częściowo odbita, a w części ulega ugięciu na krawędzi ekranu. W jakiej części fala ulega każdemu z wymienionych uprzednio zjawisk zależy od wielu czynników, w tym w szczególności od konstrukcji ekranu.

Uproszczony schemat rozchodzenia się fali akustycznej w układzie źródło – ekran – odbiorca przedstawiono na rycinie 2.



h_1 – wysokość źródła, przyjmowana w przedziale 0,5–1,2 m, w zależności od udziału w strumieniu pojazdów ciężkich,

h_2 – wysokość punktu obserwacji, zależna od położenia kondygnacji budynku chronionego przed hałasem,

h_{eff} – wysokość efektywnego ekranu, stanowiąca wysokość trójkąta ZWO,

φ – kąt ugięcia fali dźwiękowej na krawędzi ekranu.

Ryc. 2. Schemat rozchodzenia się fal dźwiękowych w układzie źródło – ekran – obserwator [5–6]

Skuteczność ekranu zależy od tego, jaka część fali akustycznej zostanie pochłonięta przez ekran, a jaka jej część wskutek dyfrakcji zostanie przeniesiona do strefy cienia akustycznego. Skuteczność ekranu jest określana dla konkretnego punktu odbioru, dlatego nie ma ekranów, które zawsze będą skuteczne, czy też zawsze nieskuteczne. Mogą one być skuteczne bądź nie w odniesieniu do konkretnego punktu w przestrzeni, który chcemy chronić.

Skuteczność ekranu można zapisać, jako:

$$\Delta L_A = L_{A2} - L_{A1} \text{ [dB]},$$

gdzie:

L_{A1} – poziom dźwięku w punkcie pomiarowym przed budową ekranu,

L_{A2} – poziom dźwięku w tym samym punkcie pomiarowym po wybudowaniu ekranu.

Teoretycznie ekran jest skuteczny, jeżeli $\Delta L_A > 0$, w praktyce jednak przyjmuje się następujące skuteczności ekranów [5–6]:

- $\Delta L_A > 10$ dB – skuteczność bardzo wysoka,
- $6 \text{ dB} < \Delta L_A < 10$ dB – skuteczność zadowalająca,
- $4 \text{ dB} < \Delta L_A < 6$ dB – skuteczność „tolerowana”,
- $0 \text{ dB} < \Delta L_A < 4$ dB – ekran praktycznie nieskuteczny.

Do podstawowych czynników decydujących o skuteczności ekranu można zaliczyć:

- rodzaj materiałów dźwiękochłonnych i dźwiękoizolacyjnych zastosowanych w konstrukcji ekranu,
- geometrię ekranu,
- usytuowanie ekranu względem źródła dźwięku i punktu odbioru,
- rodzaj generowanego hałasu,
- warunki pogodowe.

4. Rodzaje ekranów akustycznych

Ze względu na rodzaj materiałów zastosowanych w konstrukcji ekranów możemy wyróżnić ekrany:

- **pochłaniające**, które zbudowane są z materiałów absorpcyjnych sprawiających, że część fali dźwiękowej nie wraca do środowiska, lecz jest pochłaniana przez ekran. Przykładem takiego ekranu mogą być ekrany wykonane z paneli typu zielona ściana, metalowych, aluminiowych lub z tworzywa sztucznego wypełnionych materiałem absorpcyjnym, paneli drewnianych wypełnianych płytą trocinozrębkobetonową i wełną mineralną;
- **odbijające**, których głównym zadaniem jest niedopuszczenie do przejścia fali akustycznej przez przegrodę, lecz skierowanie jej w kierunku, z którego nadeszła. Ekrany takie mogą być wykonane m.in. z poliwęglanu, szkła akrylowego [7].

4.1. Panele betonowe



Jednym z najstarszych rozwiązań ochrony środowiska przed hałasem są panele betonowe. Zbudowane są one najczęściej z nośnej płyty żelbetonowej, do której przymocowane są płyty akustyczne wykonane np. z trocinobetonu, keramzybetonu lub zrębkobetonu. Panele tego typu cechują się bardzo dobrymi właści-

wościami izolacyjnymi, ale nieco gorszymi pochłaniającymi, jest to zależne od zastosowanego materiału. Mimo iż panele betonowe są bardzo trwałe jest to stosunkowo drogie rozwiązanie. Ze względu na swoją wagę często wymagają wzmocnionej konstrukcji montażowej, jak również użycia podczas montażu lub transportu ciężkiego sprzętu, co także nie pozostaje bez wpływu na koszty ich stosowania.

4.2. Panele typu zielona ściana

Panele akustyczne typu zielona ściana zbudowane są z odpornej na korozję ocynkowanej ramy wraz z zabezpieczającą z zewnątrz powierzchnię ekranu stalową



kratą i wypełnienia izolującego pochłaniającego falę dźwiękową, którym najczęściej jest wełna mineralna. Powierzchnia ekranu osłonięta jest zieloną siatką z tworzywa sztucznego zapewniającą estetykę oraz zabezpieczającą wypełnienie ekranu akustycznego. Stalowa kratka, która umieszczona jest na zewnątrz paneli, umożliwia wspinanie się pnączy. Pnącza nie tylko są wyrazem estetyki otoczenia, ale stanowią dodatkową izolację dźwiękochłonną. Jednym z głównych założeń paneli typu zielona ściana było to, aby porośnięte były roślinnością pnącą. Niestety, z dotychczasowych doświadczeń wynika, iż w polskich warunkach klimatycznych jest to trudne do osiągnięcia. Panele typu zielona ściana zostały wprowadzone w krajach Beneluxu, przy założeniu tamtejszych warunków środowiskowych. W Polsce wzrostowi pnączy na tego typu panelach nie sprzyja klimat, który powoduje, że w zimie rośliny muszą przetrwać kilkunastostopniowe i długotrwałe mrozy, natomiast w lecie, z powodu nagrzewania się konstrukcji panelu, temperatury sięgające 60°C. Ponadto drogi i ekrany w Polsce często buduje się na nasypach z rozbudowanym systemem odprowadzającym wodę, która jest niezbędna roślinom do życia. Kolejnym elementem niesprzyjającym wzrostowi roślinności na panelach typu zielona ściana są związki chemiczne stosowane do zimowego utrzymania dróg.

4.3. Panele kasetowe (aluminiowe, stalowe, PVC)



Kasety są elementem w postaci skrzynek wykonywanych z dwóch lub czterech profilowanych blach połączonych nitami lub na zamek i zamkniętych z boku blachami lub elementami z PVC, wypełnionymi materiałem o dobrych właściwościach przeciwdźwiękowych. Kasety mają wypełnienie bardzo zbliżone do paneli typu zielona ściana, jednakże wełna mineralna jest tu dodatkowo obudowana warstwą perforowanego aluminium, stali lub PVC. Tego typu ekrany charakteryzują się stosunkowo dobrymi właściwościami akustycznymi, w zależności od potrzeb produkuje się zarówno kasety pochłaniające, jak i odbijające. Obudowa najczęściej może być w dowolnej kolorystyce, przy czym panelom wykonanym z PVC można nadać dużo bardziej zróżnicowaną barwę. Kasety można łatwo łączyć z innymi wypełnieniami ekranów (np. płytami z poliwęglanu lub akrylu). Kasety perforowane o dużych otworach umożliwiają obrastanie konstrukcji pnączami roślinnymi.

4.4. Płyty



Wypełnienia z płyt to najczęściej stosowana forma ekranu przezroczystego. Rzadziej wykorzystanym rozwiązaniem są płyty nieprzezroczyste. Płyty są montowane w stalowych lub aluminiowych ramach i wsuwane w konstrukcję słupów nośnych lub płyty bez ram są dociskane kątownikami bezpośrednio do słupów. Płyty ze względu na materiał, z którego zostały wykonane dzielimy na:

– płyty z polimetakrylanu metylu zwanego potocznie „akrylem” – jest to materiał najczęściej wykorzystywany do produkcji płyt przezroczystych. Ekrany cechują się wysokim współczynnikiem przepuszczalności światła oraz bardzo dobrymi właściwościami izolacyjnymi, przy jednoczesnym braku pochłaniania dźwięku. Jest to jedno z najdroższych istniejących rozwiązań na rynku. Orientacyjna cena akrylu zbrojonego zaczyna się od 720 zł/m², natomiast akrylu niezbrojonego to 320 zł/m²;

– płyty ze szkła naturalnego hartowanego – klejonego z płyty lub w postaci jednej tafli – wykorzystywane są głównie do konstrukcji przezroczystych. W zależności od oczekiwanych parametrów płyty szklane mogą być klejone z kilku warstw, poprawia to ich właściwości akustyczne i zwiększa wytrzymałość, ale jednocześnie wiąże się ze wzrostem ceny. Ceny płyt ze szkła zaczynają się od 180 zł/m² i dochodzą do 400 zł/m². Najłabszą cechą tego typu paneli jest ich niska odporność na uszkodzenia;

– płyty z poliwęglanu – nie wymagają stosowania zbrojenia, co korzystnie wpływa na ich cenę, która kształtuje się średnio na poziomie 320 zł/m². Wadą tego rozwiązania jest mniejsza odporność materiału na promieniowanie UV oraz mała sztywność, co powoduje konieczność stosowania mniejszych formatów niż w innych rodzajach płyt.

Cena tego typu wypełnienia płyt jest relatywnie wysoka w porównaniu do innych konstrukcji, jednak jego zastosowanie jest w wielu przypadkach konieczne lub bardzo korzystne, np. ze względów estetycznych.

4.5. Ekrany o konstrukcji samonośnej



Ekrany o konstrukcji samonośnej to mury posadowione na ławach fundamentowych, na wzmocnionym gruncie, zbudowane z elementów drobnowymiarowych, na przykład gazonów lub pustaków przeciwdźwiękowych, które wykonane są z betonu, keramzytobetonu lub zrębkobetonu. Ekrany mogą również mieć formę odpowiednio zbrojonego nasypu, który przyjmuje postać pionowej ściany.

Zastosowanie takiego ekranu daje możliwość kształtowania ścian. Jest to rozwiązanie trwałe, odporne na warunki atmosferyczne. Przede wszystkim charaktery-

zuje się dobrą izolacyjnością, ale nieco słabszym pochłanianiem, uzależnionym od zastosowanego materiału. Największą wadą tego typu ekranów jest pracochłonny sposób ich montażu, który wymaga ręcznego układania poszczególnych elementów na specjalnych zaprawach klejowych, a później zalewania betonem.

5. Podsumowanie

Dokonując przeglądu aktów prawnych i normatywnych wprowadzonych w życie na przestrzeni ostatnich lat, można zaobserwować wyraźne dążenie do coraz silniejszego akcentowania problematyki emisji akustycznej.

W związku ze wzrastającym zanieczyszczeniem środowiska hałasem pochodzącym od dróg, kwestia ochrony przed nim stała się jednym z najważniejszych elementów strategicznych państwa. Najczęściej stosowanym sposobem zmniejszenia poziomu hałasu wywołanego przez ruch uliczny jest budowa przeszkód – ekranów akustycznych między źródłem nadmiernego hałasu a środowiskiem poddanym jego oddziaływaniu. Coraz częściej zwraca się uwagę na estetykę powstających ekranów oraz na ich żywotność. Skuteczność ekranu jest zależna od jego rodzaju i wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu lat. Każdy z opisanych uprzednio ekranów ma swoje słabe strony wpływające na jego trwałość. I tak, ekrany z wypełnieniem z kaset stalowych nie sprawdziły się w polskich warunkach ze względu na ich podatność na korozję. Kasety z PCV, pomimo że na początku stosowania wyglądają estetycznie, gdyż można im nadać dużo ciekawszą kolorystykę niż kasetom ze stali czy aluminium, to po pewnym czasie użytkowania pod wpływem temperatury tracą kształt i ulegają deformacji. Natomiast w panelach typu zielona ściana zauważono, że stanowiąca ich wypełnienie wełna mineralna ulega deformacji, co powoduje pogorszenie ich właściwości akustycznych. Ponadto, bardzo ciężko jest utrzymać je w czystości ze względu na pory i zagłębienia występujące na ich powierzchni. Do najtrwalszych należy zaliczyć ekrany betonowe, które niestety zazwyczaj nie są zbyt estetyczne, poza tym koszt wyprodukowania i montażu takiego ekranu jest wysoki. Wadą ekranów przezroczystych przede wszystkim jest to, że płyty przezroczyste, z których takie ekrany są zbudowane, bardzo łatwo ulegają zabrudzeniom i zarysowaniom, co znacząco ogranicza ich funkcję polegającą na przepuszczaniu światła i zapewnieniu odpowiedniej widoczności.

Literatura

- [1] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku, DzU nr 189 z 18.07.2009, s. 12–25.
- [2] K u c h a r s k i R., *Hałas drogowy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1979.
- [3] O l s z a c k i J., *Określenie wodoprzepuszczalności i dźwiękochłonności betonów asfaltowych stosowanych w nawierzchniach drenujących*, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Kielce 2005, praca doktorska.

- [4] Sandberg U., Ejsmond J.A., *Tyre/Road Noise Reference Book*, Informex, SE-59040 Kisa.
- [5] www.termlo.pl (10.09.2011).
- [6] Makarewicz R., *Dźwięki i fale*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2004.
- [7] Sälzer E., *Ochrona przed hałasem w miastach*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1978.

KATARZYNA KIPRIAN

GRZEGORZ LIGUS

GENESIS AND METHOD FOR ROAD NOISE LIMITING
– ACOUSTIC BAFFLE

The paper regulations on the environmental protection against noise were included. Authors also presented basic information about the road noise, and the mechanism of its formation. The main types of noise baffles, used as one of the methods of environmental protection against road noise were characterized. In the work authors have focused in particular on the pros and cons of alternatives, the principle of their operation and effectiveness.