

**ZARZĄDZANIE KLIMATEM AKUSTYCZNYM W
JEDNOSTKACH SAMORZĄDU TERYTORIALNEGO – NOWE
PODEJŚCIE**

**MANAGING THE ACOUSTIC CLIMATE IN LOCAL
GOVERNMENT UNITS – A NEW APPROACH**

Waldemar PASZKOWSKI
Politechnika Śląska

Streszczenie: W artykule przedstawiono nowe podejście do kształtowania komfortu akustycznego jako procesu zarządzania środowiskiem akustycznym na terenach zurbanizowanych. Rozwijane badania w tym obszarze opierają się na uwzględnieniu psychoakustycznego aspektu kształtowania komfortu akustycznego w środowisku miejskim. Skutkiem takiego podejścia, w zależności od przeznaczenia terenu, jest nie tylko redukcja hałasu do wartości dopuszczalnych, ale ocena jakości akustycznej dźwięków pochodzących z różnych źródeł. W tym kontekście przeprowadzony został przegląd podjętych badań nad identyfikacją krajobrazów dźwiękowych jako sposobu kształtowania komfortu akustycznego w środowisku miejskim. Zaproponowano w artykule wykorzystanie metody entropii dla potrzeb oszacowania percepcji słuchowej dźwięków. Z podjętych badań własnych wynika, że powiązanie relacji jakości postrzeganych dźwięków z elementami/czynnikami kształtującymi środowisko akustyczne może zostać wykorzystane do waloryzacji krajobrazów dźwiękowych.

Słowa kluczowe: klimat akustyczny, komfort akustyczny, środowisko akustyczne, krajobraz dźwiękowy, entropia, bodźce

1. Wprowadzenie

W ciągu ostatnich lat coraz większe znaczenie nabiera zagadnienie kształtowania klimatu akustycznego przestrzeni publicznej miast. Na ogół, zadania kształtowania klimatu akustycznego realizowane są w oparciu o dane/informacje pochodzące z pomiarów oraz symulacji rozkładu parametrów akustycznych w środowisku. Wykorzystuje się do tego celu informacje o parametrach akustycznych pochodzące nie tylko z przyjętych punktów referencyjnych w miejscach przeprowadzenia pomiarów, ale również informacje mapowe pochodzące z symulacji poziomu dźwięku na badanym obszarze.

Obecnie, ocena zagrożenia hałasem mieszkańców na terenach zurbanizowanych przeprowadzana jest zgodnie z obowiązującymi przepisami i wymaganiami. Obowiązująca dyrektywa [6] nakłada na miasta obowiązek tworzenia i zarządzania mapami akustycznymi. Z mapy akustycznej otrzymujemy informacje i wskaźniki o stanie zagrożenia środowiska hałasem na różnych terenach. W zależności od funkcji użytkowych zagospodarowanych terenów, dopuszczalne parametry zagrożenia hałasem charakteryzują się zmiennymi wartościami [16]. W stosowanym podejściu powiązanie informacji mapowej o zagrożeniu ponadnormatywnym hałasem z wielkościami dopuszczalnymi jest punktem wyjścia do podjęcia zadań redukcji hałasu na analizowanym terenie.

Efektywny proces zarządzania środowiskiem akustycznym realizowany w jednostkach samorządu terytorialnego wynikać powinien z wypracowanego konsensusu pomiędzy przedstawicielami reprezentującymi między innymi: społeczeństwo, samorząd terytorialny, przedsiębiorców, podmioty i instytucje zarządzające infrastrukturą.

Skutkiem procesu zarządzania środowiskiem akustycznym są decyzje, które mają bezpośredni wpływ na rodzaj podejmowanych działań w zakresie sposobów kształtowania klimatu akustycznego. W tym ujęciu kluczowy staje się odpowiedni wybór sposobu kształtowania klimatu akustycznego, którego skutkiem będzie wdrożenie rozwiązań o charakterze: technicznym, organizacyjnym lub kombinacją tych rozwiązań.

Uwzględniając powyższe, ze względu na specyfikę procesu zarządzania środowiskiem akustycznym podejmowane zadania przez jednostki samorządu terytorialnego (j.s.t.) można przyporządkować do działań:

- planowania – polegające na wprowadzaniu odpowiednich zapisów kryteriów akustycznych w dokumentach strategicznych j.s.t. i rozwiązań w zakresie sposobu przeznaczenia i użytkowania terenów tj. w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego,
- organizowania – obejmujące przedsięwzięcia wymiany informacji o charakterze akustycznym i konsultacji pomiędzy przedstawicielami środowisk/instytucji oraz wyboru wypracowanego rozwiązania,
- wdrażania – stanowiące realizację ustalonego rozwiązania w środowisku i będąca konsekwencją podjętych zadań planistycznych i organizacyjnych oraz nadzorowanie przebiegu etapów prac wdrożeniowych,
- monitorowania – polegające na bieżącej aktualizacji i wprowadzaniu zmian na mapach akustycznych w zakresie identyfikacji obiektów infrastruktury i źródeł dźwięku oraz okresowym prowadzeniu pomiarów akustycznych w środowisku.

W zależności od potrzeb, decyzje w tym zakresie odnosić się mogą do wdrażania:

- rozwiązań technicznych, tj.: stosowanie obiektów/elementów redukujących hałas, eliminacji źródeł hałasu, wprowadzenie do środowiska dodatkowego źródła maskującego niepożądane dźwięki,
- rozwiązań formalno-organizacyjnych, tj.: stosowanie zapisów prawnych, modyfikacji organizacji ruchu pojazdów, zmian w zagospodarowaniu i przeznaczeniu terenów.

Wdrażanie właściwych rozwiązań w zakresie redukcji hałasu i zarządzanie środowiskiem akustycznym zależy istotnie od wiedzy decydentów i stopnia wykorzystania informacji od ekspertów.

Obecnie jako punkt wyjścia w przedsięwzięciach zmierzających do kształtowania klimatu akustycznego w środowisku miejskim wykorzystuje się wskaźnik odnoszący się do liczby mieszkańców narażonych na ponadnormatywny hałas (wskaźnik M) oraz zmienne wartości długookresowych dopuszczalnych poziomów dźwięku przyporządkowane do terenu związanego z jego przeznaczeniem (wskaźnik LDWN, LN) [16].

Podejmowanie decyzji w zakresie kształtowania środowiska akustycznego na podstawie pozyskanych tego typu danych/informacji koncentruje się z reguły na wyborze sposobu redukcji zagrożenia akustycznego i dostosowaniu ponadnormatywnego hałasu do wartości dopuszczalnych. Skutkiem takiego podejścia najczęściej jest stosowanie drogich rozwiązań modernizacyjnych oraz inwestycyjnych (np. montaż ekranów akustycznych), które nie zawsze spełniają założone wymagania akustyczne, w zakresie efektywnego obniżenia poziomu hałasu na zagospodarowanych terenach. Dodatkową kwestią odnoszącą się do montażu dodatkowych obiektów redukujących hałas jest zapewnienie wymaganych odległości tych obiektów od występujących elementów infrastruktury. Tego typu rozwiązania jako potencjalne

bariery ochronne obniżają możliwości funkcjonalne użytkowanych terenów, również poprzez ograniczenie pola widoczności.

W większości przypadków zadania redukcji hałasu w środowisku sprowadzają się do wdrażania rozwiązań „wyciszania” źródeł dźwięku. Podejmowane rozwiązania redukcji hałasu ograniczone są najczęściej m.in. dopuszczalnymi wartościami poziomu dźwięku, charakterem emisji źródła dźwięku oraz uwarunkowaniami przestrzenno-funkcjonalnymi. Najlepszym rozwiązaniem redukcji hałasu źródeł jest kształtowanie środowiska na etapie planowania przestrzennego, w zgodności ze sposobem zagospodarowania i przeznaczenia terenów [10, 14].

Stosowane powszechnie podejście do redukcji hałasu na terenach zurbanizowanych nie uwzględnia oceny stanu komfortu akustycznego społeczeństwa. W zależności od przeznaczenia terenu i rodzaju aktywności społeczeństwa percepcja sygnałów dźwiękowych jest różnie interpretowana. Subiektywna specyfika odbioru wrażeń akustycznych ze względu na swoją złożoność nie powinna sprowadzać się tylko do oceny w zakresie dopuszczalności poziomu dźwięku. Rozszerzenie oceny zagrożenia hałasem do subiektywnego odbioru wrażeń dźwiękowych ukierunkowuje proces zarządzania klimatem akustycznym na zachowanie komfortu akustycznego na terenach o różnym przeznaczeniu zagospodarowania.

2. Opis koncepcji krajobrazów dźwiękowych w środowisku

Idea krajobrazów dźwiękowych zyskuje coraz większe zainteresowanie w podejściu do ekologii akustycznej, która w sposób istotny wykorzystuje aspekty percepcji dźwięku jako subiektywnej oceny hałasu. Stan zagrożenia hałasem w tym kontekście stanowi wypadkową ilościowego oraz jakościowego odwzorowania cech o charakterze akustycznym i nieakustycznym w środowisku miejskim. Z przeprowadzonych badań w tym obszarze wynika, że nie są dostatecznie rozpoznane jakościowe cechy odwzorowania i oceny akustycznej środowiska. Wykorzystanie koncepcji krajobrazów dźwiękowych w badaniu środowiska miejskiego zakłada przede wszystkim uwzględnienie zróżnicowanych zasobów informacyjnych w zakresie oceny jakości akustycznej (komfortu akustycznego). Pozyskanie odpowiednich zasobów informacyjnych o charakterze ilościowym i jakościowym ze środowiska stanowi punkt wyjścia do opracowania sposobu oceny stanu akustycznego środowiska miejskiego.

Złożoność i skomplikowany charakter podjętego problemu wymaga opracowania spójnej metodyki postępowania, która uwzględniać powinna zastosowanie/opracowanie odpowiednich metod opisu i oceny krajobrazów dźwiękowych. Na ogół, w stosowanych badaniach oceny krajobrazów dźwiękowych stosowane są ankietowe metody pozyskiwania informacji ze społeczeństwa w zakresie oszacowania jakości akustycznej środowiska miejskiego. Koncepcja krajobrazów dźwiękowych zakłada subiektywną równowagę środowiska akustycznego w ujęciu ilościowym i jakościowym odbioru sygnałów dźwiękowych.

W podejmowanych badaniach nad oceną krajobrazów dźwiękowych poszukiwaniu podlegają poza ankietowe sposoby pozyskiwania i przetwarzania informacji w zakresie opracowania oceny oraz prognozy jakości stanu akustycznego środowiska miejskiego. Idea krajobrazów dźwiękowych orientuje badania na poszukiwanie w układzie źródło-odbiornik cech jakościowej odpowiedzi sygnałów dźwiękowych pochodzących z różnych źródeł.

Istnieje uzasadniona potrzeba pozyskiwania zasobów informacyjnych ze środowiska o charakterze akustycznym i nieakustycznym, które powinny następnie podlegać właściwej klasyfikacji, uporządkowaniu i ocenie. Rozwijane metody oceny zagrożenia hałasem z wykorzystaniem map akustycznych nie obejmują badania jakości

akustycznej środowiska. Wiele czynników i zmiennych wpływa na jakość oraz intensywność odbioru dźwięków w środowisku. Stosowane powszechnie podejście do redukcji hałasu na terenach zurbanizowanych odnosi się tylko do ilościowego aspektu zagrożenia hałasem. Brak jest również w stosowanym podejściu odpowiednich miar oraz wskaźników, które w sposób znormalizowany odnosiłyby się do subiektywnego odbioru wrażeń akustycznych. Uwzględniając powyższe występuje brak standaryzacji w ocenie jakości akustycznej środowiska.

Uogólniając, podejmowanie działań koncentrujących się tylko na redukcji hałasu źródeł nie zawsze jest uzasadnione ze względu na operowanie jedynym kryterium przekroczeń poziomu dźwięku w środowisku. Określony poziom dźwięku oraz cechy jakościowe dźwięków określają z reguły specyfikę klimatu akustycznego związanego z charakterem miejsc, które pozytywnie kształtują wrażenia psychoakustyczne odbiorców.

Uwzględniając powyższe występuje potrzeba opracowania takiego sposobu kształtowania środowiska miejskiego, który nie tylko opierać się będzie na obniżeniu poziomu dźwięku w miejscach występujących przekroczeń. Rozszerzając zagadnienie kształtowania środowiska miejskiego do aspektu psychoakustycznego za celowe przyjmuje się w pierwszym przybliżeniu uwzględnienie zróżnicowanych czynników (w tym nieakustycznych), specyfiki źródeł i zjawisk opisujących stan akustyczny wraz ze strukturami przestrzennymi środowiska. Pozyskanie informacji w szerszym jak dotychczasowo zakresie pozwoli zidentyfikować środowisko miejskie nie tylko „przez pryzmat” wartości poziomu dźwięku.

Obecne badania w kształtowaniu krajobrazów dźwiękowych wskazują na semantyczne znaczenie zawartości dźwięku jako informacji pozyskiwanej do zadań planistycznych [15]. W rozwijanych badaniach zwraca się uwagę na różnorodność krajobrazu dźwiękowego i dźwiękową tożsamość dla potrzeb kształtowania zrównoważonego krajobrazu dźwiękowego. Krajobraz taki kształtowany jest m.in. na podstawie zidentyfikowanych źródeł hałasu, analizy przebiegu sygnałów dźwiękowych w czasie i występujących interakcji pomiędzy źródłami i odbiornikiem [1]. W tym ujęciu przez odbiornik należy rozumieć narząd słuchu człowieka. Specyfika krajobrazu dźwiękowego odnosząca się do jakości dźwięku wymaga sklasyfikowania i uporządkowania zbioru cech zmiennych charakteryzujących występujące zdarzenia dźwiękowe. Należy przy tym rozróżnić dźwięki występujące jako kluczowe na tle pozostałych dźwięków słyszalnych. Opis krajobrazu dźwiękowego przyporządkowanego dla danej społeczności, poza typowo fizycznymi właściwościami dźwięku, uwzględniać powinien pewne zmienne cechy natury dźwięku, tj. [2]:

- zdarzenia dźwiękowe zidentyfikowane wg. źródła pochodzenia (np. naturalne, ludzkie, mechaniczne, sztuczne),
- sygnały dźwiękowe,
- dźwięki rozpoznawalne dla danej społeczności,
- profil dźwięku/przestrzeń akustyczna, określające zasięg przestrzenny dźwięku,
- azymut określający kierunek przemieszczania się dźwięku w płaszczyźnie horyzontalnej,
- horyzont akustyczny określający największą odległość w danym kierunku, z której dźwięki mogą być słyszalne,
- jakość dźwięku „hi-fi” występująca przy wyraźnie słyszalnych dźwiękach, bez nakładania się dźwięków na siebie i bez występowania zjawiska maskowania,
- jakość dźwięku „lo-fi” występująca przy nakładaniu się na siebie dźwięków, w wyniku czego występuje maskowanie lub brak wyrazistości,
- czas występowania następujących po sobie dźwięków (rytm, wzór, cykl).

Jedną ze stosowanych metod badania krajobrazów dźwiękowych są spacerowe dźwiękowe. Przeprowadzono obserwacje podczas realizacji spacerów dźwiękowych, którymi objęto miasta Bruksela, Barcelona, Bristol, Genua (projekt Silence, [7]). W ramach projektu przeanalizowano wpływ elementów struktury urbanistycznej w zakresie stopnia zagospodarowania, ukształtowania powierzchni, roślinności oraz różnych rodzajów aktywności związanych ze źródłami dźwięku, na krajobraz dźwiękowy. Zastosowano w ramach projektu metody ilościowe (pomiar) i metody jakościowe polegające na zastosowaniu ankiet.

Środowisko akustyczne miast wymaga w wielu przypadkach tworzenia na nowo jakości dźwiękowej w różnych miejscach przebywania społeczeństwa. Z uwagi na poruszaną specyfikę cech jakościowych dźwięku i subiektywnego wrażenia odbioru dźwięków istotne jest wzmacnianie pozytywnych dźwięków charakterystycznych, kształtowanie różnorodności i odpowiedniej sekwencji krajobrazów dźwiękowych, występującej podczas tzw. spacerów dźwiękowych. Krajobraz dźwiękowy związany jest z tożsamością przestrzeni miejskich, a tym samym z grupami społeczności i postrzegany powinien być jako część kultury miasta. Szczególne znaczenie w kształtowaniu krajobrazów dźwiękowych na terenach zurbanizowanych będą mieć nowe miejsca przeznaczone do wypoczynku i tworzące środowisko akustyczne, np. ogrody brzmieniowe, w których występować będą tylko pozytywne i pożądane dźwięki.

Ze względu na zróżnicowany charakter środowiska akustycznego miast, w zadaniach kształtowania krajobrazów dźwiękowych wykorzystuje się strefowanie obszarów związane z występującymi rodzajami aktywności, dla których stosuje się pomiary akustyczne, prognozy rozkładu dźwięku i oceny subiektywne społeczeństwa [4]. W ramach projektowania akustycznego dokonywana jest ocena nowych dźwięków przed ich wprowadzeniem, ocena zgodności funkcji z występującym lub oczekiwanym krajobrazem dźwiękowym, ochrona pewnych dźwięków charakterystycznych oraz tworzenie atrakcyjnego, bodźcowego środowiska akustycznego poprzez stosowanie różnorodności dźwięków [3].

W projektowaniu i zarządzaniu krajobrazami dźwiękowymi zaproponowano kilka etapów w realizacji zadań [5]. W pierwszym etapie, wskazano na zdefiniowanie czynników charakteryzujących miejsca przebywania ludzi (rodzaj prowadzonej aktywności, pora dnia, warunki atmosferyczne, etc). W drugim etapie ustalane powinny być cele odnoszące się do zidentyfikowanych miejsc (cele wypracowane przy zapewnieniu konsensusu społecznego). Trzeci etap polega na identyfikacji pożądanych i niepożądanych dźwięków, które mogą wpływać na ustalone w drugim etapie cele. Ostatni, czwarty etap, w zależności od potrzeb polega na działaniach związanych z zarządzaniem/projektowaniem krajobrazu dźwiękowego poprzez maskowanie dźwięku:

- niepożądany dźwięk nie maskuje dźwięku pożądanego,
- maskowanie niepożądanego dźwięku dźwiękiem pożądanym.

Zidentyfikowane zostały ponadto przesłanki dla prezentowanego podejścia [5] o charakterze akustycznym dla różnych miejsc przebywania społeczeństwa, które powinny być uwzględnione w projektowaniu krajobrazów dźwiękowych, m.in.:

- szum wody powinien być dominującym dźwiękiem słyszalnym,
- „szczególny dźwięk” powinien być wyraźnie słyszalny z badanego miejsca,
- dźwięki związane głównie z działalnością ludzi (nie mechaniczne, nie wzmocnione),
- dźwięki niesłyszalne,
- dźwięki pochodzące z natury stanowiąc powinny dominujący dźwięk słyszalny,
- tylko dźwięki naturalne powinny być słyszalne,
- niewzmocniona mowa (lub muzyka),

- wzmocniona mowa (lub muzyka),
- rzeźba akustyczna/installacja dźwięków powinna być wyraźnie słyszalna,
- dźwięki pochodzące z miasta powinny być dominującymi dźwiękami słyszalnymi.

Kształtowanie środowiska akustycznego staje się ważnym zagadnieniem projektowania przestrzeni publicznych, ze względu na równoległe powiązanie aspektów środowiska akustycznego i komfortu akustycznego. W tym względzie, badaniu podlegać powinny parametry akustyczne i percepcja dźwięku oraz wzajemne interakcje pomiędzy źródłami dźwięku i społeczeństwem. Jest to proces długofalowy i zależny od wielu zmiennych na poziomach: legislacyjnym, ustalenia struktur przestrzennych, funkcjonalno-użytkowym, społecznym i finansowym.

Zadania kształtowania środowiska akustycznego miast wymagają opracowania spójnej metodologii w obszarze komfortu akustycznego, w tym krajobrazu akustycznego, ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji wrażeń akustycznych społeczeństwa, w odniesieniu do rodzaju aktywności i miejsc przebywania. Wymaga to opracowania modelu, który uwzględniać powinien informacje związane z pozyskiwaniem wrażeń akustycznych oraz informacji o projektowanym środowisku. Zestawienie relacji pomiędzy różnymi źródłami hałasu i wrażeniami subiektywnymi społeczeństwa pozwoli na projektowanie środowiska akustycznego przy zastosowaniu koncepcji kształtowania krajobrazów dźwiękowych.

3. Znaczenie jakości akustycznej dźwięków w środowisku

Środowisko akustyczne miast rozpatrywać można ze względu na występujące relacje pomiędzy elementami tworzącymi to środowisko. Elementy, które tworzą środowisko akustyczne przyporządkować można ogólnie do zbioru obiektów i zbioru cech zmiennych [11]. Zbiór obiektów charakteryzujących elementy środowiska reprezentowany jest m.in. strukturami przestrzennymi budynków, infrastrukturą, terenami niezabudowanymi, które opisane są poprzez cechy materiałowe. Z kolei, zbiór cech zmiennych środowiska uzależniony jest od występujących zróżnicowanych źródeł dźwięku oraz właściwości związanych z fizycznym opisem dźwięków wraz z ich parametrami, jako dźwięki pochodzenia naturalnego oraz dźwięki związane z aktywnością człowieka.

Uwzględniając powyższe, kształtowanie środowiska akustycznego w miastach realizowane może być na kilka sposobów, tj. poprzez: modyfikację zbioru obiektów, zbioru cech zmiennych oraz poprzez wykorzystanie odpowiednich relacji pomiędzy elementami zbioru obiektów i zbioru cech zmiennych. Często, ze względu na ustaloną już strukturę przestrzenno-funkcjonalną miast kształtowanie środowiska akustycznego ogranicza się tylko do działań na zbiorze cech zmiennych. Konsekwencją takiego stanu rzeczy jest istotne zawężenie pola możliwych rozwiązań, sprowadzające się w większości przypadków do stosowania barier ochronnych (np. ciągu ekranów akustycznych), co skutkuje często nieefektywnością i podrożeniem rozwiązania. Najbardziej efektywne kształtowanie środowiska akustycznego realizowane jest w nowotworzonych terenach miejskich, wówczas ze względu na występujące szerokie pole możliwych rozwiązań zastosować można racjonalne powiązanie elementów zbioru obiektów i zbioru cech zmiennych.

Problem kształtowania krajobrazów dźwiękowych na terenach zurbanizowanych sprowadza się przede wszystkim do eliminacji niepożądanych dźwięków w środowisku i wzmocnianiu dźwięków o pozytywnym znaczeniu. W tym względzie, uzasadnione staje się podjęcie badań nad identyfikacją wrażeń akustycznych różnych źródeł hałasu w zależności od zmiennych i występujących czynników towarzyszących. Oszacowanie

jakościowych cech akustycznych środowiska w relacji do miejsc przebywania oraz ze względu na rodzaj prowadzonej aktywności społeczeństwa pozwoli racjonalnie kształtować sposób i funkcje zagospodarowania terenów zurbanizowanych.

Kształtowanie krajobrazów dźwiękowych wymaga innego spojrzenia na zagadnienie dźwięków występujących w środowisku i tym samym na sposób redukcji hałasu w różnych miejscach przebywania społeczności. W związku z powyższym, koncentracja badań środowiskowych na krajobrazach dźwiękowych wymaga szczegółowego odniesienia się do jakościowych cech dźwięku przy uwzględnieniu ilościowych metod oszacowania zagrożenia hałasem. Dźwięki jakie występują w środowisku, ze względu na ich rozpoznawalność można ogólnie zakwalifikować do dźwięków pozytywnych oraz dźwięków szkodliwych. Subiektywny charakter odbioru dźwięków przez naturę ludzką w kwalifikacji dźwięków nie jest jednoznaczny ze względu na podział na dźwięki pozytywne i szkodliwe. Przedstawiona idea zakłada pewne usystematyzowanie i sklasyfikowanie zbioru i cech dźwięków występujących na badanym terenie poprzez zachowanie, rozwijanie, „pomnożenie” dźwięków pozytywnych i wyodrębnienie dźwięków szkodliwych podlegających eliminacji.

Zgodnie z przeprowadzonymi badaniami w zakresie percepcji słuchowej dźwięki pochodzące od źródeł mają zawartość informacyjną i semantyczną, których rozpoznanie przez ośrodek narządu słuchu kojarzone jest z rodzajem źródła, w odniesieniu do jakości odczuwanych wrażeń akustycznych [15]. Zdecydowany podział na dźwięki przyjemne i nieprzyjemne w środowisku jest względny, ponieważ subiektywny charakter hałasu oraz czynniki towarzyszące wrażeniom akustycznym wpływają na zróżnicowaną ocenę dźwięków.

Skomplikowany i złożony aspekt odbioru wrażeń akustycznych zależy od wielu różnych czynników poza słuchowych, związanych m.in. z kulturowością, grupami społecznymi, tradycją, miejscami przebywania, emocjami towarzyszącymi, itp. Powiązanie różnych czynników poza słuchowych z multisensorycznym odbiorem wrażeń dźwiękowych stanowi punkt wyjścia do badań nad oceną jakości akustycznej w środowisku.

W celu opracowania sposobu oceny jakościowej dźwięków konieczne będzie pozyskanie dodatkowych informacji z obszaru inżynierii środowiska miejskiego. W tym względzie, za istotne uważa się opracowanie modelowej reprezentacji akustycznej cech dźwięków w odwzorowaniu środowiska dla potrzeb kształtowania komfortu akustycznego.

Z przeprowadzonych badań własnych w zakresie odwzorowania cech środowiska akustycznego wynika, że może ono być reprezentowane za pomocą map tematycznych. Reprezentacja stanu akustycznego za pomocą map tematycznych stanowić będzie bazę do opracowania sposobu identyfikacji i oceny komfortu akustycznego.

Uwzględniając powyższe, zasadne będzie podjęcie badań w zakresie identyfikacji typowych sygnałów dźwiękowych charakteryzujących środowisko zurbanizowane, w odniesieniu do ogólnego rozróżnienia (klasyfikacji) na dźwięki przyjemne i nieprzyjemne. Zakłada się, że na bazie dokonanej klasyfikacji jakościowej dźwięków w środowisku możliwe będzie prognozowanie jakości odbioru akustycznego typowych źródeł. Dźwięki ze względu na zróżnicowane źródła pochodzenia (naturalne i antropogeniczne) w różny sposób kształtować mogą jakościowy stan akustyczny środowiska, dlatego prognozowanie znaczących dźwięków stanowi również obszar podejmowanych badań.

4. Psychoakustyczne aspekty kształtowania krajobrazów dźwiękowych

Aspekty percepcji słuchowej powiązać można z otoczeniem przy uwzględnieniu informacyjnego charakteru cech dźwięku. Ilość informacji docierającej z otoczenia rośnie w zakresie większego rozpoznania krajobrazu dźwiękowego przy uwzględnieniu struktur obiektów i występujących zjawisk akustycznych. Na zasób informacyjny w układzie obiekt – obserwator mają wpływ [9]:

- Właściwości – cechy krajobrazu,
- Cechy indywidualne obserwatora,
- Warunki obserwacji – rodzaje relacji pomiędzy obserwatorem i krajobrazem.

Sygnaly docierające za pomocą bodźców do odbiorcy odbierane są przy pomocy różnych zmysłów. W ramach przeprowadzonych badań własnych nad multisensorycznym odbiorem wrażeń dźwiękowych [8] zaproponowano wykorzystanie metody entropii informacji do jakościowej oceny sygnałów dźwiękowych w środowisku [13]. Założono, że ilość informacji można mierzyć za pomocą prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia akustycznego. W prezentowanym ujęciu, entropia informacji opisuje uśredniony ilościowo multisensoryczny i subiektywny odbiór wrażeń dźwiękowych w układzie źródło-odbiornik w środowisku miejskim. Uwzględniając powyższe przyjmuje się, że metoda entropii pozwoli sklasyfikować występowanie różnych sygnałów z pewnym prawdopodobieństwem.

Prawdopodobieństwo wystąpienia sygnałów w badanych krajobrazach uwarunkowane jest cechami źródeł sygnałów [9]. Entropia informacji w proponowanym ujęciu wskazuje na wartość i rodzaj emocji jakie krajobraz dźwiękowy wywołuje poprzez bodźce w organizmie człowieka. Wartość entropii nie informuje o strukturze krajobrazu i sposobie jego funkcjonowania, dlatego zasadne będzie uzupełnienie entropii informacji odbioru bodźców o informacje elementów krajobrazu dźwiękowego podczas jego waloryzacji.

Oszacowanie entropii informacji w proponowanym ujęciu polegać będzie na wyborze reprezentatywnych cech, które identyfikować będą znaczenie sygnału źródła dźwięku we wielozmysłowym odbiorze zdarzenia akustycznego.

Przyjęto, że A jest atrybutem o wartościach a_1, a_2, \dots, a_m oraz założono, że D jest decyzją o wartościach d_1, d_2, \dots, d_n . Wtedy entropia informacji $I(aD)$ jest równa $H(D) - H(D/A)$, gdzie $H(D)$ jest entropią decyzji D ,

$$H(D) = - \sum_{i=1}^n p(d_i) * \log_2 p(d_i) \quad (1)$$

a $H(D/A)$ jest warunkową entropią decyzji D przy danym atrybucie A ,

$$H(D/A) = \sum_{j=1}^m p(a_j) * H(D/a_j) \quad (2)$$

gdzie:

$p(d_i)$ - prawdopodobieństwo wystąpienia wartości decyzji d_i ,

$p(a_j)$ - prawdopodobieństwo wystąpienia wartości decyzji a_j .

W ramach badań nad multisensoryczną identyfikacją percepcji dźwięku przeprowadzono teoretyczną analizę oraz próbę oceny emocji wywołanych bodźcami, ze względu na działanie kilku i pojedynczych źródeł dźwięku w środowisku. Przedstawiono poniżej wariantowe zestawienie prawdopodobnego wystąpienia niepożądanych emocji wywołanych hałasem komunikacyjnym, w odniesieniu do miejsca przebywania, dla różnych konfiguracji informacji pochodzących z odbioru bodźców (tabela 1) [12].

Przeprowadzona analiza (tabela 1) uwzględnia cztery teoretyczne warianty multisensorycznej percepcji dźwięku związanej z miejscem przebywania potencjalnej osoby. Jako miejsce przebywania przyjęto park miejski. W przyjętych rozważaniach park miejski należy rozumieć jednoznacznie jako miejsce odpoczynku i relaksu, które nie powinno być zakłócone negatywnymi bodźcami słuchowymi. Przyjęto w oszacowaniu odbioru bodźców wywołanych źródłem dźwięku następujące kryteria oceny:

- Wzrokowe: tak/nie,
- Słuchowe: bardzo wysoki, wysoki, obojętny,
- Węchowe: dobre, złe,
- Dotykowe: tak/nie.

Zaproponowane kryteria oceny mają charakter umowny i odnoszą się do subiektywnego postrzegania dźwięku przez bodźce słuchowe, przy jednoczesnym uwzględnieniu innych bodźców w odbiorze sygnału akustycznego. W przypadku opisu bodźców słuchowych przyjęto trzy kryteria oceny dla potrzeb precyzyjnego odwzorowania jakościowego charakteru odbioru dźwięku.

Tabela 1.
Analiza grupy bodźców wywołanych hałasem komunikacyjnym w relacji do miejsca przebywania [12]

Hałas komunikacyjny					
Park miejski	Atrybuty				Emocje niepożądane.
	Wzrokowe	Słuchowe	Węchowe	Dotykowe	
1.	Tak	Wysoki	Złe	Nie	Tak
2.	Nie	Bardzo wysoki	Złe	Nie	Tak
3.	Tak	Obojętne	Dobre	Nie	Tak
4.	Nie	Obojętne	Dobre	Nie	Nie

Zestawienie odbioru grupy bodźców w parku wywołanych hałasem komunikacyjnym w tabeli 1, wymaga uzupełnienia o dodatkowe informacje związane z reprezentatywnymi cechami sygnałów emisji dźwięku, warunkami atmosferycznymi, zjawiskami rozchodzenia się dźwięku w przestrzeni oraz cechami społeczeństwa, m.in. z uwzględnieniem: odległości źródło-odbiornik, kierunkowości emisji, natężenia ruchu pojazdów, pory dnia, struktury przestrzennej obiektów infrastruktury, wieku społeczeństwa. Przedstawione podejście stanowi uogólnioną próbę identyfikacji jakości akustycznej w odwzorowaniu ilościowym. Podjęte badania stanowią punkt wyjścia do opracowania modelowego oszacowania emocji wywołanych typowymi źródłami dźwięku w środowisku miejskim. Otrzymane wartości entropii warunkowej dla każdej grupy bodźców otrzymane zostały poprzez kolumnowe powiązanie kryteriów ocen poszczególnych bodźców z kolumnowymi kryteriami wywołanych emocji niepożądanych.

Po podstawieniu informacji z tabeli 1 do (1) i (2) otrzymano następujące wartości entropii bodźców w tabeli 2. Wartości poszczególnych bodźców stanowią entropię warunkową (2), natomiast wartość emocji reprezentowana jest entropią decyzji (1).

Tabela 2. Kształtowanie się wartości entropii informacji bodźców w odniesieniu do odbioru hałasu komunikacyjnego w parku miejskim [12]

Oszacowanie znaczenia źródła	Wzrokowe	Słuchowe	Węchowe	Dotykowe	Emocje niepożądane
Entropia warunkowa/decyzji	0,5	0,5	0,5	0,81	0,81
Entropia informacji	0,31	0,31	0,31	0	-

Otrzymane wartości w tabeli 2 wskazują na przyrost/zmniejszenie informacji o jakości percepcji dźwięku wywołanych przez bodźce. Jeżeli entropia informacji osiągnie minimum (wartość 0) oznacza to, że nie występuje niepewność. Jeśli zdarzenie występuje z prawdopodobieństwem równym 1, to jego entropia wynosi 0. W tym przypadku, przy wartości entropii informacji dążącej do jedności posiadamy więcej informacji w zakresie wywołania emocji niepożądanych przez bodźce (tab.2).

Wystąpienie emocji o określonej klasyfikacji wywołanej działaniem źródła wynika ze złożonych relacji pomiędzy różnymi zmysłami odbioru sygnałów i pozyskanych informacji od odbiorców.

Ze względu na akustyczny aspekt badania środowiska, słuchowe bodźce informacyjne podlegać powinny szczegółowej identyfikacji w multisensorycznym odbiorze sygnałów z otoczenia. W rzeczywistości, często mamy do czynienia z jednoczesnym działaniem kilku źródeł dźwięku oraz sytuacjami występowania dominującego źródła na tle pozostałych.

Oszacowane wartości entropii informacji dla zróżnicowanych źródeł mogą być wykorzystane do waloryzacji atrakcyjności krajobrazów dźwiękowych. Możliwe będzie wyznaczenie wskaźnika uciążliwości akustycznej krajobrazu poprzez powiązanie wartości entropii bodźców z entropią emocji. Im wskaźnik bliższy będzie wartości 1, tym krajobraz zawierać będzie więcej informacji wywołującej emocji negatywnych – będzie mniej atrakcyjny.

Z przeprowadzonych badań w tym zakresie uznaje się za istotne przyjęcie odpowiedniej ilości przedziałów klasyfikacji wrażeń (skali) dla reprezentacji odbioru dźwięków przez bodźce słuchowe.

Zakłada się oszacowanie entropii informacji dla wygenerowanych możliwych wariantów odbioru multisensorycznego bodźców od występujących typowych źródeł w środowisku miejskim, które uwzględnić będą zależności: rodzaj prowadzonej aktywności-miejsce przebywania-rodzaj źródła.

Dalsze badania nad opracowaniem psychoakustycznego modelu jakości akustycznej percepcji dźwięków ukierunkowane będą na identyfikację reprezentatywnych wielkości, cech i czynników opisujących wektor bodźców słuchowych.

Powiązanie wektora bodźców słuchowych z oszacowaniem entropii informacji dla możliwych wariantów odbioru bodźców będzie podstawą utworzenia bazy danych dla reprezentatywnych źródeł w relacji do rodzaju prowadzonej aktywności i miejsc przebywania społeczeństwa. Opracowana w ten sposób baza danych stanowić będzie przybliżenie kwantyfikacji emocji dla modelowych sytuacji zagrożenia hałasem społeczeństwa w środowisku miejskim.

Temat poruszony w artykule jest wynikiem prac związanych z realizacją projektu badawczego N R14 000106/2009 pt: „Sieciowy system doradztwa i konsultacji w procesach tworzenia i użytkowania strategicznych map akustycznych” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

5. Wnioski

Proces zarządzania klimatem akustycznym w jednostkach samorządu terytorialnego wymaga podejmowania złożonych i zintegrowanych działań, począwszy od identyfikacji stanu akustycznego w środowisku, organizowania i planowania zadań, wdrażania rozwiązań technicznych/organizacyjnych, po monitorowanie zagrożenia hałasem.

Koncepcja wdrażania krajobrazów dźwiękowych stanowi nowe podejście w efektywnym zarządzaniu środowiskiem akustycznym. W tym podejściu dobór rozwiązań w zakresie kształtowania komfortu akustycznego uzależniony jest od ilościowych i jakościowych kryteriów odbioru wrażeń psychoakustycznych społeczeństwa w środowisku.

W podjętych badaniach nad wspomaganie kształtowania komfortu akustycznego w środowisku zaproponowano wykorzystanie metody entropii informacji do jakościowej reprezentacji dźwięków w środowisku. Zakłada się oszacowanie emocji psychoakustycznych z uwzględnieniem czynników środowiska, które stanowiąc będą pewien wzorzec odniesienia dla typowych reprezentacji źródeł dźwięku.

Istotne będzie w dalszych badaniach opracowanie wektora bodźców słuchowych reprezentującego odbiór wrażeń psychoakustycznych w środowisku. Włączenie reprezentacji wektora bodźców słuchowych w mapową reprezentację środowiska pozwoli na sklasyfikowanie i oszacowanie krajobrazów dźwiękowych.

6. Literatura

- [1] Adams M., Cox T., Moore G., Croxford B., Refie M., Sharples S.: Sustainable soundscapes: noise policy and urban experience. *Urban Studiem*. Vol. 43, 13, 2006.
- [2] Bernat S.: Projektowanie akustyczne w planowaniu przestrzennym. *Problemy ekologii krajobrazu*. T. XIX. PAEK, Gdańsk-Warszawa 2007, s.43-50.
- [3] Bernat S.: Projektowanie krajobrazów dźwiękowych miast. III Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa Problemu Hałasu w Mieście. Szczecin 2010, s. 117-122.
- [4] Brown A.L.: Acoustic Objectives for designer or manager soundscapes. *Soundscape the Journal of Acoustic Ecology*. No. 4.2, 2003, s. 19-23.
- [5] Brown A.L.: Soundscapes and soundscape planning. 18th International Congress on Sound/Vibration. Rio de Janeiro – Brazil 2011, pp. 1-14.
- [6] EU Environmental Noise Directive 2002/49/EC. *Official Journal of the European Communities*, L 189/12.
- [7] <http://www.silence-ip.org/site/> (31.08.2007r.).
- [8] Klawiter A., Preis A.: Percepcja słuchowa przedmiotów. Szkic teorii i jej testowanie. *Kolokwia Psychologiczne*. Nr. 14, 2006, s. 144-162.
- [9] Kowalczyk A.: Applying the pieces and corridors model to the valorisation of the natural environment for the needs of recreation. [in:] Cieszewska A. (ed.): *Ecological problems of landscape*. Volume XIV, 2004, pp. 1-8.
- [10] Paszkowski W.: Elementy planowania przestrzennego w projektowaniu środowiska akustycznego na terenach zurbanizowanych. *Management Systems in Production Engineering*. Nr 3(3), 2011, s. 33-37.
- [11] Paszkowski W.: Kształtowanie krajobrazów dźwiękowych w projektowaniu środowiska akustycznego miast. *XL Zimowa Szkoła Zwalczania Zagrożeń*, Szczyrk 2012, s. 229-236.
- [12] Paszkowski W.: Próba identyfikacji jakości akustycznej w środowisku miejskim. 59 Otwarte Seminarium Akustyczne (OSA), Poznań-Boszkowo 2012, s. 191-194.

- [13] Paszkowski W.: Psychoacoustic aspects of shaping city soundscapes. Proceedings of the Inter-Noise Congress. USA 2012, s. 1-8.
- [14] Paszkowski W.: Supporting the design of acoustic environment in spatial planning in urban areas, Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference (France), pp.310.
- [15] Raimbault M., Dubois D., Urban soundscapes: experience and knowledge. Cities. Vol. 22, issue 5, 2005, pp. 339-350.
- [16] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, Dziennik Ustaw Nr 120, poz. 826, str. 8276-8280.