Ekologia akustyczna na obszarach leśnych

Janusz Piechowicz
Agnieszka Ozga
Dominik Mleczko
Cezary Kasprzak
Lesław Stryczniewicz

EKOLOGIA AKUSTYCZNA NA OBSZARACH LEŚNYCH

Janusz Piechowicz
Agnieszka Ozga
Dominik Mleczko
Cezary Kasprzak
Lesław Stryczniewicz

Monografie Katedry Mechaniki i Wibroakustyki

Kraków, 2015

Recenzenci:
prof. dr hab. inż. Jerzy Wiciak Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
dr hab. Janusz Kompała, prof. Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach

Wydawca: Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Afiliacja autorów: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Projekt okładki: Dominik Mleczko
Zdjęcia na okładce: Agnieszka Ozga i Jerzy Wiciak

Monografia zrealizowana w ramach działalności statutowej KMiW, AGH w Krakowie
11.11.130.955
oraz współpracy z Polskim Towarzystwem Akustycznym Oddział w Krakowie

Wydanie pierwsze 2015

ISBN 978-83-61402-32-9

Spis treści

Spis oznaczeń **5**

Wstęp **7**

1. Puszcza Niepołomicka **9**

2. Ochrona przyrody **18**

3. Źródła prawa dotyczące ochrony środowiska **21**

3.1. Źródła prawa Unii Europejskiej 21
3.1.1 Pierwotne źródła prawa Unii Europejskiej 21
3.1.2 Dyrektywy - źródła prawa pochodnego 21
3.1.3 Wtórne oraz pomocnicze źródła prawa Unii Europejskiej 23
3.2 Ustawodawstwo polskie związane z ochroną przyrody i nowymi przedsięwzięciami 23
3.3 Program ochrony środowiska przed hałasem 25
3.4 Ustawa krajobrazowa 29
Literatura 29

4. Klimat akustyczny na obszarach leśnych **32**

4.1. Hałas w życiu i działalności człowieka 33
4.2. Klimat akustyczny w środowisku naturalnym 34
4.3. Las i jego dźwięki 37
4.4. Relacja przyroda - hałas 46
4.5. Oddziaływania skumulowane 47
4.6. Dźwięki w królestwie ptaków 48
4.7. Dźwięki w życiu ssaków 50
4.8. Inne zwierzęta 53
4.9. Podsumowanie 53
Literatura 54

5. Korytarze ekologiczne i przejścia dla zwierząt **56**

5.1. Wprowadzenie 56
5.2. Rodzaje przejść dla zwierząt 58
5.2.1. Przejścia po powierzchni drogi 58
5.2.2. Przejścia górne 58
5.2.3. Przejścia dolne 60
5.2.4. Przejścia o funkcjach zespolonych 62
5.3. Aspekty akustyczne projektowania przejść dla zwierząt 62
5.4. Porealizacyjna analiza klimatu akustycznego przejścia dla zwierząt 64
5.5. Podsumowanie 69
Literatura 69

6. Tłumienie hałasu przez zieleń **71**

6.1. Wpływ zieleni na propagację fali akustycznej 71
6.2. Badania eksperymentalne wpływu zieleni na propagację dźwięku w przestrzeni otwartej 78

6.3. Podsumowanie 86
Literatura 86

7. Infradźwięki w środowisku 87

7.1. Wprowadzenie 87
7.2. Badania infradźwięków 90
7.3. Analizy klimatu infradźwiękowego 91
7.4. Podsumowanie 98
Literatura 98

8. Zakończenie 100

Spis oznaczeń

E	–	współczynnik względnej ciasnoty, m
B	–	szerokość przejścia widzianego jako otwór w korpusie drogi, m
H	–	wysokość przejścia widzianego jako otwór w korpusie drogi, m
L	–	długość przejścia widzianego jako otwór w korpusie drogi, m
L_{Aeq}	–	równoważny poziom dźwięku A, dB
L_{Zeq}	–	równoważny poziom dźwięku Z, dB
L_p	–	poziom ciśnienia akustycznego, dB
$L_{Aeq,T}$	–	równoważny poziom dźwięku A w decybelach, wyznaczony dla przedziału czasu odniesienia T (od t_1 do t_2), dB
p_0	–	ciśnienie akustyczne odniesienia ($2 * 10^{-5}$ Pa)
p_A	–	chwilowa wartość ciśnienia akustycznego, mierzonego filtrem A sygnału akustycznego, Pa
LAeq D	–	równoważny poziom dźwięku A dla pory dnia (rozumianej jako przedział czasu od godz. 6^{00} do godz. 22^{00}), dB
LAeq N	–	równoważny poziom dźwięku A dla pory dnia (rozumianej jako przedział czasu od godz. 22^{00} do godz. 6^{00}), dB
LDWN	–	długookresowy średni poziom dźwięku A wyrażony w decybelach, wyznaczony w ciągu wszystkich dób w roku, z uwzględnieniem pory dnia (rozumianej jako przedział czasu od godz. 6^{00} do godz. 18^{00}), pory wieczoru (rozumianej jako przedział czasu od godz. 18^{00} do godz. 22^{00}) oraz pory nocy (rozumianej jako przedział czasu od godz. 22^{00} do godz. 6^{00}), dB
LN	–	długookresowy średni poziom dźwięku A wyrażony w decybelach, wyznaczony w ciągu wszystkich pór nocy w roku (rozumianych jako przedział czasu od godz. 22^{00} do godz. 6^{00}), dB

f	–	częstotliwość dźwięku, Hz
r	–	odległość od osi jezdni, m
K_1	–	współczynnik określający charakter źródła
K_2	–	współczynnik określający redukcję dźwięku przez powierzchnię terenu i zieleń łącznie

Wstęp

Rozwój świadomości ekologicznej doprowadził do tego, że powszechną jest wiedza o szkodliwości przebywania w rejonie, gdzie jakość powierza jest zła, a także w środowisku zanieczyszczonym, pełnym odpadów, nadmiaru dwutlenku węgla, toksyn, szkodliwego promieniowania. Ogranicza się ilość lub usuwa nadmiar czynników trujących, toksycznych i szkodliwych z naszego otoczenia. Do przedmiotu ekologii ogólnej dodano już różne składniki środowiska życia oraz czynniki, przyczyniające się do jego degradacji. Wciąż jednak pomija się tak ważny składnik środowiska, jakim jest odpowiedni i optymalny klimat akustyczny. Eliminując różne rodzaje zanieczyszczeń ze środowiska, nie powinniśmy zapominać o hałasie.

Hałas często kojarzony jest z dźwiękiem, jednakże pojęcia te **nie są** równoznaczne. Dźwięk jest terminem z dziedziny fizyki, natomiast hałas jest pojęciem fizyczno-biologicznym. Nie posiadamy urządzeń pomiarowych odróżniających dźwięk przyjemny od dokuczliwego (hałasu). Jesteśmy natomiast w stanie zmierzyć poziom dźwięku, przy czym im jest wyższy jest poziom dźwięków, które są szkodliwe, tym hałas jest bardziej dokuczliwy.

Pisząc tą książkę naszym celem jest kontynuowanie dyskusji na temat propagacji hałasu nie tylko na terenach zamieszkałych przez ludzi, ale i na obszarach przyrodniczo cennych. Chcielibyśmy zwrócić uwagę na zjawiska akustyczne występujące na obszarach leśnych.

Monografia skierowana jest do wszystkich osób, które poprzez zainteresowania lub zawodowo zajmują się ochroną przyrody i chciałyby poszerzyć swoją wiedzę o aspekt badań związanych z pejzażem akustycznym. Książka powstała w wyniku obserwacji akustycznych prowadzonych w Puszczy Niepołomickiej, stąd większość z zaprezentowanych badań eksperymentalnych dotyczy klimatu akustycznego tej puszczy, a w rozdziale pierwszym przedstawiono krótką charakterystykę terenów objętych dwoma obszarami Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura 2000: PLH120080 (*Torfowisko Wielkie Błoto*) i PLB120002 (*Puszcza Niepołomicka*).

W rozdziale drugim opisana jest ochrona przyrody w aspekcie nowej strategii przyjętej przez Komisję Europejską. W tej części monografii zwrócono uwagę, że negatywny wpływ dróg, autostrad, kopalni, ścieżek rowerowych, szlaków pieszych został zarejestrowany i zapisany w raporcie monitoringu *Oddziaływania i zagrożenia dla typów siedlisk przyrodniczych* w roku 2013. Każde z wymienionych powyżej zagrożeń jest źródłem hałasu, a zmiana klimatu akustycznego nie tylko nie jest rejestrowana przez monitorujących środowisko przyrodników, ale znaczenie tych zmian bardzo często nie jest brane pod uwagę w analizie stanu środowiska.

W rozdziale trzecim omówione zostały źródła prawa dotyczące ochrony środowiska ze szczególnym uwzględnieniem **Dyrektywy 2009/147/WE** z 30 listopada 2009 w sprawie ochrony dzikiego ptactwa (tzw. **Dyrektywa ptasia**) i **Dyrektywy 92/43/EWG w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory** (tzw. **Dyrektywa Siedliskowa**), które stworzyły zasady ochrony obszarów przyrodniczo cennych w Europie.

W kolejnym, czwartym rozdziale opisano rolę hałasu w życiu i działalności człowieka oraz czynniki kształtujące klimat akustyczny w obszarze leśnym. Poruszony został temat różnorodnych dźwięków w lesie, a także relacji między przyrodą a problemami wynikającymi z nadmiernego hałasu. Pokazano przykładowe skutki oddziaływania hałasu na życie i zachowanie różnych gatunków takich jak ssaki, ptaki i inne zwierzęta. Zwrócono uwagę na skumulowane oddziaływania wielu źródeł hałasu na jakość środowiska naturalnego.

W piątym rozdziale opisano główne cele budowy przejść dla zwierząt oraz ich podział ze względu na docelowe grupy zwierząt mających je wykorzystywać, usytuowanie względem drogi oraz funkcje ekologiczne. Zwrócono uwagę na problem hałasu w okolicach przejść, wskazując jednocześnie sposoby ograniczania go na etapie projektowania inwestycji. Ponadto autorzy przeprowadzili elementy porealizacyjnej analizy klimatu akustycznego mostu krajobrazowego, znajdującego się nad autostradą A4 w bezpośrednim sąsiedztwie Puszczy Niepołomickiej.

Rozdział szósty opisuje wpływ elementów zieleni na propagację fali akustycznej w przestrzeni otwartej oraz tłumienie hałasu przez zieleń. Na podstawie wiedzy badań własnych i przekazów literaturowych omówiono możliwości zastosowania pasów zieleni do ograniczania zasięgu hałasu komunikacyjnego w sąsiedztwie dróg komunikacji samochodowej lub kolejowej.

W rozdziale siódmym zasygnalizowano najważniejsze problemy dotyczące propagacji infradźwięków oraz ich oddziaływania na organizmy żywe. Pomimo tego, że są one niesłyszalne przez człowieka, mogą wywoływać istotny, najczęściej niekorzystny, wpływ na organizmy żywe. Ze względu na te właściwości oraz możliwość propagacji na duże odległości, są one istotnym czynnikiem, na który powinniśmy zwrócić większą uwagę przy analizie pejzażu akustycznego.

Dla potrzeb niniejszej monografii wykonano wiele akustycznych sesji pomiarowych w obszarach leśnych Puszczy Niepołomickiej i terenach przyległych do autostrady A4, przebiegającej w bezpośrednim sąsiedztwie Puszczy.

Autorzy wyrażają słowa podziękowania dla pracowników Nadleśnictwa Niepołomice za pomoc i współpracę w prowadzeniu badań akustycznych na terenie Puszczy Niepołomickiej. Szczególne podziękowania za okazaną życzliwość kierujemy w stronę Nadleśniczego Pana mgr inż. Michała Gosia.

Autorzy dziękują również Panu Stanisławowi Kachelowi za udostępnienie zdjęć.

1. Puszcza Niepołomicka

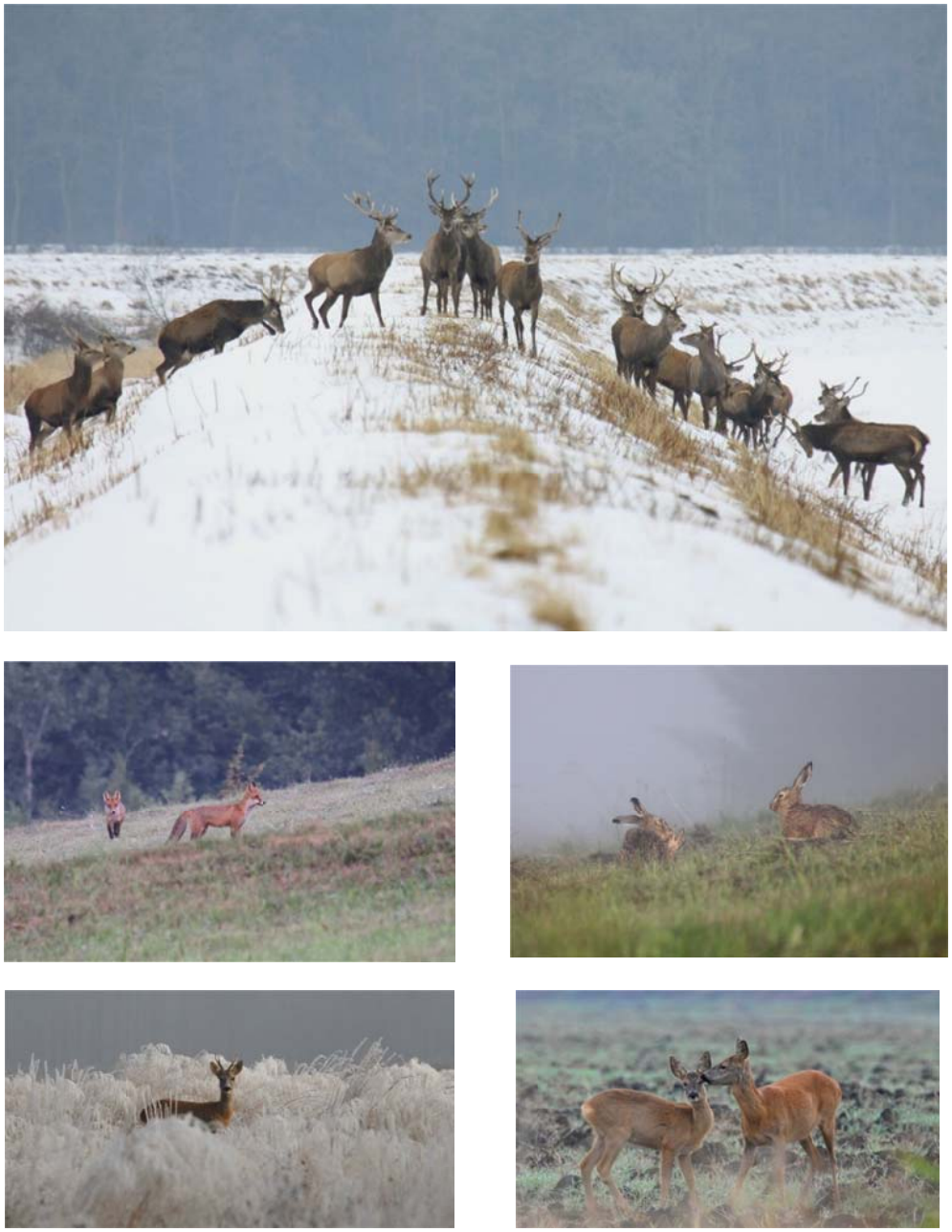
Puszcza Niepołomicka [1-4] była własnością królów polskich, polowano tu na *niedźwiedzie, tury, żubry, łosie, dziki, jelenie, żubry i wilki,* żyły tu *rysie i żbiki*. Tury to gatunek wymarły, niedźwiedzie z Litwy trzeba było już sprowadzać na polowania Zygmunta Starego. Współczesny Ośrodek Hodowli Żubrów ze względu na zagrożenie pryszczycą objęty jest ścisłą ochroną, a ostatni wilk widziany był na terenie lasu pod koniec XX wieku.

Puszcza, zgodnie ze swoją nazwą, miała być niemożliwa do zniszczenia, pokonania i wytrzebienia, a sprawa niedostępności wynikała prawdopodobnie z zabagnienia, powstałego w wyniku pocięcia terenu zakolami starowiślisk. Występowały tu *jesiony, wiązy, dęby, lipy drobnolistne, graby*, jednakże Austriacy w czasie zaborów zastępowali stary, wycinany przez nich drzewostan, szybko rosnącym lasem sosnowym. Niemcy w czasie II wojny światowej dalej prowadzili wycinkę, a potem ogromne ilości drewna zostały skierowane na powojenną odbudowę Polski. Następnie zanieczyszczenia między innymi pochodzące z ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Krakowie (dawniej Huty im. T. Sendzimira) przyczyniły się do degradacji drzewostanu. Dzięki zmianie świadomości ludzi, zanieczyszczenia zaczęły być ograniczane i las na przełomie XX i XXI wieku odżył.

Aktualnie nie licząc wspomnianych powyżej *sosen* (Rys 1.1) rosną tu *brzozy, dęby, olchy, buczyny, łęgi*, a na terenie Wielkiego Błota można spotkać reliktową *brzozę niską*.

Rys. 1.1. Zmierzch w Puszczy Niepołomickiej i wschód słońca nad Wielkim Błotem.

W lesie żyją *sarny* i *kozły*, *jelenie* i *łanie, borsuki, jenoty, dziki, lisy, kuny, zające* (Rys. 1.2). Do ssaków chronionych tu żyjących zaliczamy: *żubra, bobra, gronostaja, nocka dużego, nocka wąsatka, popielicę, ryjówkę aksamitną i malutką.* W Puszczy Niepołomickiej mają swoje siedliska również *jaszczurki, zaskrońce, żmije zygzakowate, ropuchy szare i zielone, rzekotki drzewne* i *traszki zwyczajne.*



Rys. 1.2. Dzikie zwierzęta zamieszkujące Puszczę Niepołomicką: jelenie, kozioł, sarny, lisy i zające. Autorem zdjęć jest Stanisław Kachel.

Emberiza citronella / Trznadel

Sendrocopos major / Dzięcioł duży

Fringilla coelebs / Zięba

Erithacus rubecula / Rudzik

Parus major / Bogatka

Phylloscopus sibilatrix / Świstunka

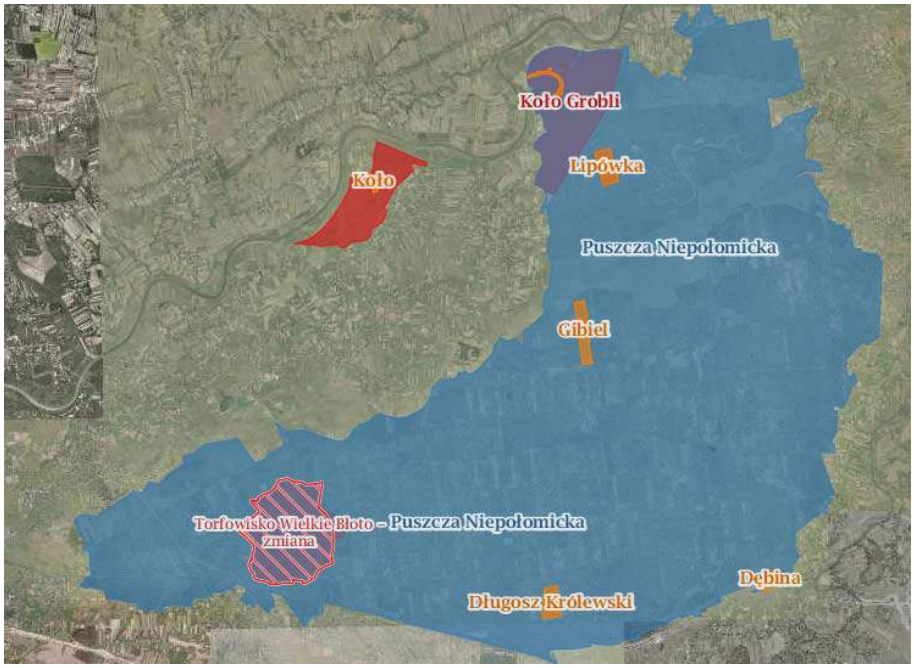
Rys. 1.3. Ptaki sfotografowane w Puszczy Niepołomickiej.
Autorem zdjęć jest Stanisław Kachel.

Ze względu na gniazdujące tu gatunki ptaków ([6], Rys. 1.3) teren został zaliczony do dwóch obszarów objętych Europejską Siecią Ekologiczną Natura 2000 (Rys 1.4).

Obszar PLH120080 (*Torfowisko Wielkie Błoto*) to polana w Puszczy Niepołomickiej, która nie tylko zawiera zbiorowiska *młaki niskoturzycowej*, *torfowisk niskich* oraz *łąk wilgotnych,* ale użytkowana także poprzez zabudowę i rolnictwo. Występują tu populacje trzech gatunków motyli wymienianych w II Załączniku Dyrektywy Siedliskowej: *Modraszek nausitous (Phengaris nausithous), Modraszek telejus (Phengaris teleius)* i *Czerwończyk nieparek (Lycaena dispar).*

Obszar PLB120002 (*Puszcza Niepołomicka*) to teren specjalnej ochrony ptaków, występuje tu 29 gatunków z Załącznika I Dyrektywy Ptasiej. Przedmiotami ochrony są cztery gatunki ptaków z Polskiej Czerwonej Księgi.

- *Puszczyk uralski, Strix uralensis* (kod gatunku A220)
- *Dzięcioł czarny, Dryocopus martius* (kod gatunku A236),
- *Dzięcioł średni, Dendrocopos medius* (kod gatunku A238)
- *Muchołówka białoszyja, Ficedula albicollis* (kod gatunku A321).



Rys. 1.4. Mapa dwóch obszarów Natura 2000: PLH120080 (*Torfowisko Wielkie Błoto*) zaznaczone linią kreskowaną i PLB120002 (*Puszcza Niepołomicka*) - zaznaczone na niebiesko. http://geoserwis.gdos.gov.pl/mapy/?obszar=PLH280006, dostęp lipiec 2015

W wyniku monitoringu efektów oddziaływania autostrady A4 na populacje ptaków w obszarze specjalnej ochrony ptaków przeprowadzonym w 2012 roku przez ornitologa Pana Tomasza Wilka z Ogólnopolskiego Towarzystwa Ochrony Ptaków [5], stwierdzono występowanie w punktach pomiarowych znajdujących się przy autostradzie A4 i w głębi Puszczy, następujące gatunki ptaków: *Zięba, Kapturka, Pierwiosnek, Bogatka, Trznadel,*

Dzięcioł duży, Rudzik, Piecuszek, Muchołówka białoszyja, Kos, Świstunka leśna , Szpak, Grubodziób, Modraszka, Kowalik, Sosnówka, Strzyżyk, Świergotek drzewny, Śpiewak, Sójka, Bażant, Turkawka, Gajówka, Turkawka, Grzywacz, Pełzacz ogrodowy, Pełzacz leśny, Cierniówka, Dzięcioł czarny, Myszołów, Gąsiorek, Muchołówka szara, Dzięcioł średni, Kruk, Czarnogłówka, Trzciniak, Pliszka siwa, Pleszka, Szczygieł, Skowronek, Derkacz, Zaganiacz, Krętogłów, Kopciuszek, Sikora uboga, Raniuszek, Świerszczak, Czubatka, Kulczyk, Puszczyk uralski, Jerzyk, Krzyżodziób świerkowy, Krogulec, Czapla siwa, Dzwoniec, Dzięciołek, Potrzeszcz, Potrzos, Muchołówka żałobna, Strumieniówka, Trzmielojad, Zniczek, Kwiczoł, Paszkot, Wrona siwa, Kukułka i Wilga .

Na terenie Puszczy Niepołomickiej funkcjonuje sześć rezerwatów [1-4, 6]:

- ✓ **Lipówka** – rezerwat ścisły, w którym chronione są drzewostany dawnej Puszczy Niepołomickiej mające 170-200 lat. Rośnie tu *grąd, łęg olszowy, dąb szypułkowy*.
- ✓ **Dębina** – rezerwat ścisły, w którym również chronione są drzewostany dawnej Puszczy Niepołomickiej. Ten naturalny *grąd* i *starodrzewie dębowe* są ostoją dla *saren, lisów, dzików i borsuków.*
- ✓ **Koło -**– rezerwat podlega ochronie częściowej. Utworzony został w celu zachowania naturalnego grądu i starorzecza wiślańskiego. Jest on siedliskiem dla chrząszczy *Kozioroga dębosza* i *Pachnicy dębowej* oraz dla płazów: *Kumaka nizinnego* i *Traszki grzebieniastej*. Jest to teren lęgowy dla: *Muchówki białoszyjej, Dzięcioła czarnego, Orlika krzykliwego, Derkacza, Włochatki i Puszczyka uralskiego*.
- ✓ **Długosz Królewski** – rezerwat ścisły, w którym chroniona jest bardzo rzadka paproć (D*ługosz królewski*) osiągająca do 2 m wysokości i znajdująca się na Czerwonej Liście Roślin i Grzybów Polski.
- ✓ **Gibiel** – rezerwat podlega ochronie częściowej. Są to moczary gdzie występuje *grąd wilgotny,* który jest pozostałością po dawnych *łęgach wiązowych.*
- ✓ **Wiślisko Kobyle –** powołany do ochrony starorzecza Wisły będącego zbiorowiskiem gatunków roślin związanych z siedliskami wodnymi i bagiennymi*: skrzypy bagienne, grążel żółty, grzybienie północne, żabiściek pływający*. Wśród ptaków mają tu swoje siedliska między innymi *Kokoszka wodna, Kaczka krzyżówka, Kureczka nakrapiana, Czapla siwa.*

W uzasadnieniu do zarządzenia **Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska** w Krakowie z 2014 r. [7] w sprawie ustanowienia planu zadań ochronnych dla obszaru Natura 2000 **Puszcza Niepołomicka** PLB120002 możemy znaleźć mapę obszaru, ocenę istniejących i potencjalnych zagrożeń dla utrzymania lub osiągnięcia właściwego stanu przedmiotów ochrony obszaru, cele działań ochronnych, określenie działań ochronnych, wskazania do zmian w istniejących dokumentach planistycznych oraz ocenę potrzeby sporządzenia planu ochrony. **Stan ochrony oceniono jako właściwy**, choć wskazano na istniejące zagrożenie dla *Puszczyka uralskiego* - ograniczenie bazy pokarmowej spowodowane zanikaniem terenów otwartych w sąsiedztwie terytoriów lęgowych. Związane jest to z zajmowaniem terenu pod zabudowę i rozwojem technologicznym wprowadzającym zmiany w metodach stosowanych w rolnictwie oraz przez nowe inwestycje przemysłowe. Wśród potencjalnych zagrożeń wskazano na likwidację istniejących i potencjalnych miejsc gniazdowania w wyniku usuwania drzew martwych, niepokojenie ptaków w sezonie lęgo-

wym, zwiększoną śmiertelność ptaków w wyniku kolizji z pojazdami mechanicznymi oraz z napowietrznymi liniami energetycznymi.

Puszcza Niepołomicka podzielona jest na 9 leśnictw: Ispina, Chobot, Dziewin, Gawłówek, Baczków, Kłaj, Przyborów, Hysne, Sitowiec. W ramach gospodarki leśnej prowadzone są szkółki, odnowienia, zalesienia, czyszczenia, pielęgnowanie i trzebieże [9].

Wielowiekowe, sięgające czasów Piastów tradycje łowieckie na terenie Puszczy są dalej kultywowane. W związku z gospodarką łowiecką zdefiniowaną jako element ochrony środowiska przyrodniczego oznaczającą *racjonalną gospodarkę zasobami zwierząt łownych* uprawia się i utrzymuje poletka łowieckie, wodopoje i urządzenia łowieckie. Do zwierząt i ptaków łownych występujących na terenie Puszczy zaliczamy*: jelenie, sarny, dziki, borsuki, lisy, jenoty, zające, bażanty, kuropatwy, dzikie kaczki, słonki i kuny*.

Analizując pejzaż akustyczny Puszczy Niepołomickiej musimy zwrócić uwagę, że przy sprzyjających warunkach pogodowych Autostradę A4, przebiegającą przy południowym brzegu puszczy, możemy usłyszeć i zarejestrować nawet w głębi lasu. O konieczności powstania tej drogi szybkiego ruchu świadczy to, że niezależnie od pory dnia, czy nocy, niezależnie od tego, czy mamy do czynienia z dniem powszednim, czy świątecznym ruch samochodów na tym fragmencie autostrady jest nieustanny. Dodatkowo, autorzy monografii zauważyli, że z dróg technicznych, które są pomiędzy ekranami i puszczą korzystają nie tylko pracownicy służb drogowych i leśnych, mieszkańcy i policja, ale i przypadkowi kierowcy. Ci ostatni, im szybciej przejeżdżają tą drogą, tym większy generują hałas i tym większe stanowią zagrożenie dla zwierząt wykorzystujących zielony most (Rys.1.5) zbudowany w tamtej okolicy.

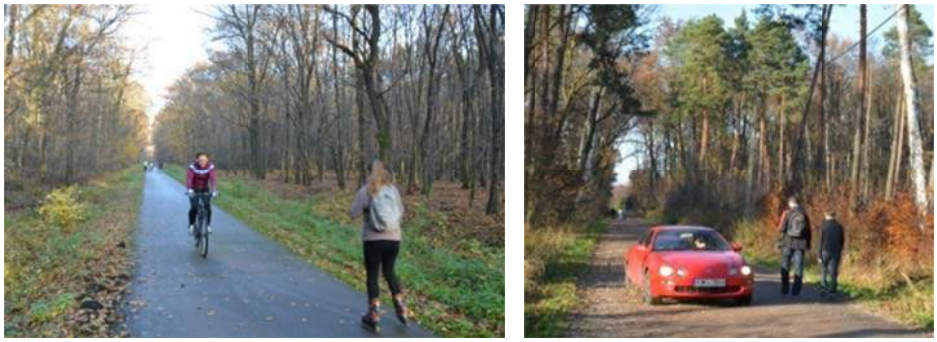
Rys.1.5. Autostrada A4, drogi techniczne pomiędzy autostradą i puszczą, zielony most znajdujący się na 462 km autostrady A4.

Na terenie i wokół Puszczy, również przy *Torfowisku Wielkie Błoto,* mieszkają ludzie (Rys.1.6). W pejzażu akustycznym pojawiają się nie tylko odgłosy związane z użytkowaniem samochodów, hodowlą zwierząt, uprawą roli (Rys.1.7), czy też szczekaniem psów, remontami starych domów i budową nowych, dodatkowo nocą pojawia się jeszcze jeden nienaturalny dźwięk - odgłos armatek mających chronić uprawy przed żerującymi dzikami.

Rys.1.6. Na terenie Puszczy Niepołomickiej oraz na jej obrzeżach mieszkają ludzie.

Rys.1.7. Na terenie Puszczy Niepołomickiej i na jej obrzeżach obok gospodarki leśnej prowadzona są również prace rolnicze.

W piękny, słoneczny dzień turyści (Rys.1.8) spacerując lub biegając, jeżdżąc na rolkach i na rowerach do późnych godzin wieczornych zakłócają naturalny stan akustyczny lasu. Dzięki dobrze przygotowanym trasom, po puszczy poruszają się też samochody służby leśnej, mieszkańców i innych osób posiadających odpowiednie uprawnienia. Generowany przez samochody hałas również zakłóca naturalne tło akustyczne. Zdarza się, na szczęście bardzo rzadko, że kierowca ma ustawione radio na taki poziom, że wydobywające się z głośników serwisy informacyjne lub muzyka rozprzestrzeniają się na znaczne odległości zakłócając śpiew ptaków, rechot żab lub panującą tu ciszę.



Rys.1.8. W głębi Puszczy Niepołomickiej mieszkańcy i służba leśna jeżdżą samochodami, turyści spacerują, biegają, jeżdżą na rowerach, na rolkach.

Wiosną na *Torfowisku Wielkie Błoto*, po wschodzie słońca w pejzażu akustycznym możemy usłyszeć nie tylko Autostradę A4, przelatujące samoloty, ale i kolej, przy czym hałas generowany przez zatrzymujący się i odjeżdżający pociąg zagłusza wszystkie inne dźwięki.

W przypadku Puszczy Niepołomickiej, pomimo tego, że jej zarządzanie prowadzone przez Nadleśnictwo Niepołomice jest bardzo rzetelne [9], nie możemy mówić jeszcze o zrównoważonym rozwoju w aspekcie działań mających na celu ochronę terenów przyrodniczo cennych. Negatywnym przykładem potwierdzającym powyższą tezę jest kolejna inwestycja, która w 2014 roku wkroczyła na tereny znajdujące się przy południowym brzegu puszczy. W planie budowy nowych torów dla zespołów trakcyjnych Pendolino, ekrany akustyczne – naturalna przeszkoda dla migrujących zwierząt, zostaną zbudowane tylko po stronie domów mieszkalnych. W ten sposób każde dzikie zwierzę wychodzą z puszczy, może bez przeszkód wejść na tory, oślepione i ogłuszone przez nadjeżdżający pociąg, który ma osiągać zgodnie ze swoim przeznaczeniem duże prędkości, będzie miało ograniczone kierunki ucieczki (Rys. 1.9).

Rys.1.9. Na obrzeżach Puszczy Niepołomickiej powstaje kolejna inwestycja – tory przygotowane do pociągu Pendolino. Ekrany powstają tylko od strony domów, co oznacza, że dzikie zwierzęta będą wychodziły na tory, po czym napotkają barierę w postaci zablokowanego przejścia.

Ten negatywny przykład braku zrównoważonego rozwoju związany jest ze wspomnianym wcześniej uzasadnieniu do zarządzenia **Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska** w Krakowie z 2014. Zaplanowane działania ochronne dotyczą tylko utrzymania aktualnego stanu ochrony warunków siedliskowych dla czterech gatunków chronionych tutaj ptaków. Bardzo rzetelnie zaplanowano ochronę miejsc gniazdowania poprzez realizację planowej gospodarki leśnej oraz ochronę powierzchni i integralności terenów otwartych w sąsiedztwie puszczy. Przykładowo - dla ochrony dzięciołów zarządzono występowanie odpowiedniej ilości martwego drewna, a w celu rozpoznania zagrożeń wynikających z zagospodarowania przestrzennego zaproponowano, aby w odległości do 200 m od granicy obszaru rozważyć możliwość wykluczenia lokalizowania nowych przedsięwzięć.

Niestety takie plany ochrony nie dotyczą innych – nie chronionych mieszkańców Puszczy Niepołomickiej.

Literatura

[1] Bzowski K., *Niepołomice spacerem i rowerem*, Kraków : Amistad, 2010.
[2] Bielak P., *Wokół Wieliczki i Niepołomic* : przewodnik turystyczny, Łapczyca : Wydawnictwo Progress Paweł Bielak, cop. 2011.
[3] Korzec M., *Niepołomice*, Krosno : "Roksana", 2001.
[4] Zinkow J., *Wokół Niepołomic i Puszczy Niepołomickiej* : monograficzny przewodnik turystyczny i krajoznawczy po zachodniej części Kotliny Sandomierskiej, nakł. Urzędu Miasta i Gminy, 2009
[5] Wilk T., *Monitoring efektów oddziaływania autostrady na populacje ptaków w obszarze specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 „Puszcza Niepołomicka”,* 29.11.2012

Strony www:
[6] http://www.puszczaniepolomicka.pl/fauna.html#.VqTWmkkm7g8, dostęp lipiec 2015
[7] http://krakow.rdos.gov.pl/files/artykuly/21075/niepolomicka_uzasadnienie.pdf, dostęp grudzień 2015
[8] http://www.niepolomice.krakow.lasy.gov.pl, dostęp lipiec 2015
[9] http://www.eurorenoma.pl/panstwowe-gospodarstwo-lesne-lasy-panstwowe-nadlesnictwo-nepolomice, dostęp lipiec 2015

2. Ochrona przyrody

Jednym z głównych problemów związanych z ochroną ekosystemów i różnorodności biologicznej jest rozwój gospodarczy. Każdego dnia następuje kolejna fragmentacja zasobów przyrody, dodatkowo zanieczyszczenie powietrza i wody wciąż są nierozwiązanymi problemami. Wzrost świadomości społecznej spowodował, że powstały wymagania dotyczące polityki gospodarowania przestrzenią na poziomie lokalnym i krajowym. Nakazują one zatrzymania procesów utraty różnorodności biologicznej poprzez wyznaczenie zobowiązania dla wszystkich państw członkowskich Unii Europejskiej do zwiększenia wysiłków na rzecz poprawy aktualnego stanu ekosystemów do 2020 r. [1,2]. W ***Dyrektywie Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r.*** **w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory** [3] (**Dyrektywa Siedliskowa**) zauważono zagrożenia niektórych typów siedlisk przyrodniczych i gatunków oraz wspomniano o konieczności podjęcie środków na poziomie wspólnotowym w celu ich ochrony. W 2011 roku Komisja Europejska przyjęła nową strategię - ***Unijną strategię ochrony różnorodności biologicznej na okres do 2020 r*** [2], określając wizję ochrony przyrody na 2050 rok i sześć celów przewodnich na 2020 rok:

1. Pełne wdrożenie **Dyrektywy 2009/147/WE** z 30 listopada 2009 w sprawie ochrony dzikiego ptactwa (tzw. **Dyrektywy ptasiej**) i **Dyrektywy 92/43/EWG w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory** (tzw. **Dyrektywy Siedliskowej**)
2. Utrzymanie i odbudowa ekosystemów i ich usług.
3. Zwiększenie wkładu rolnictwa i leśnictwa w utrzymanie i wzmocnienie różnorodności biologicznej.
4. Zapewnienie zrównoważonego wykorzystania zasobów rybnych.
5. Zwalczanie inwazyjnych gatunków obcych.
6. Pomoc na rzecz zapobiegania utracie światowej różnorodności biologicznej.

Zaprezentowana strategia przez wielu naukowców określana jest jako niewystarczająca [2].

Eksperci z różnych krajów zwracają uwagę na to, że dyrektywy nie narzucają metod monitoringu w związku z tym trudno uzyskać o porównanie wyników zawartych w raportach z różnych krajów. Państwa członkowskie Unii Europejskiej zobowiązane są przekazać Komisji i udostępnić społeczeństwu sprawozdanie, którego część stanowią raporty dotyczące stanu ochrony siedlisk przyrodniczych, gatunków roślin i zwierząt wymienionych w załącznikach I, II, IV i V **Dyrektywy Siedliskowej** (artykuł 17**)**. Wyniki powtarzanych co 6 lat ocen stanu ochrony mają służyć ocenie skuteczności stosowanych działań ochronnych. Raporty w swoim założeniu miały wskazywać priorytety w zakresie działań ochronnych. W tym miejscu pojawia się kolejny problem – naukowcy przygotowując taki dokument kolejny rok z rzędu (Rys. 2.1) zgłaszają nazwy gatunków ryb, gadów, płazów i ssaków, których stan ochrony jest nieznany lub niewystarczający. Raporty, które powinny zawierać informacje o zasięgu gatunku/typu siedliska, wielkości populacji gatunku, po-

wierzchni typu siedliska/siedliska gatunku, trendów zmian w tych parametrach, istniejących i potencjalnych oddziaływaniach na gatunek/typ siedliska, jak i ogólną ocenę stanu zachowania gatunku/typu siedliska w kilku przypadkach raportowane są jako nieznane. Kiedy nie posiadamy tych danych niemożliwe jest określenie kierunku i dynamiki zmian jakie zachodzą w środowisku, co za tym idzie niemożliwe jest podjęcia działań ochronnych.

Nazwa polska	Nazwa łacińska	Zasięg	Populacja	Siedlisko gatunku	Perspektywy ochrony	Stan ochrony
nocek wąsatek	*Myotis mystacinus*	FV	FV	FV	FV	FV
orzesznica	*Muscardinus avellanarius*	FV	XX	FV	FV	FV
podkowiec duży	*Rhinolophus ferrumequinum*	XX	XX	XX	XX	XX
podkowiec mały	*Rhinolophus hipposideros*	FV	FV	U1	FV	U1
ryś europejski	*Lynx lynx*	U1	U1	U1	U2	U2
smużka leśna	*Sicista betulina*	XX	XX	XX	XX	XX
smużka stepowa	*Sicista subtilis*	XX	XX	XX	XX	XX
susel moręgowany	*Spermophilus citellus*	U2	U2	U2	U1	U2
suseł perełkowany	*Spermophilus suslicus*	U2	U2	U1	U1	U2
tchórz	*Mustela putorius*	FV	FV	FV	FV	FV
tchórz stepowy	*Mustela eversmanii*	XX	XX	XX	XX	XX
wilk	*Canis lupus*	U1	U1	FV	FV	U1
wydra	*Lutra lutra*	FV	FV	FV	FV	FV

Rys 2.1. Ocena stanu ochrony gatunków zwierząt w regionie biogeograficznym kontynentalnym utworzony przez Instytut Ochrony Przyrody PAN w Krakowie w ramach projektu Monitoring gatunków i siedlisk przyrodniczych ze szczególnym uwzględnieniem specjalnych obszarów ochrony siedlisk Natura 2000, dostęp 07.10.2014 http://siedliska.gios.gov.pl/pdf/projekty_ke/ocena_stanu_ochrony_zwierzat_2013_con.pdf Legenda: FV (zielony)-Stan właściwy, U1 (pomarańczowy)–Stan niezadowalający, U2 (czerwony)- stan zły, XX (szary)–stan nieznany.

Rozważając sprawę od strony akustyki spotykamy się brakiem zrozumienia jak ważny jest klimat akustyczny występujący na obszarach przyrodniczo cennych.

Na podstawie wyników monitoringu przeprowadzonego w roku 2013 [4] w oddziaływaniach i zagrożenia dla siedlisk przyrodniczych uciążliwy hałas został zaznaczony tylko jeden raz – jego występowanie zostało zarejestrowane w Jodłowym Borze Świętokrzyskim. W dokumencie podsumowującym oddziaływania i zagrożenia dla gatunków zwierząt na podstawie wyników monitoringu [5] hałas nie występuje wcale. Równocześnie negatywny wpływ dróg, autostrad, kopalni, ścieżek rowerowych, szlaków pieszych itp. zanotowany jest w wielu monitorowanych stanowiskach w obu dokumentach. Warto zauważyć, że każdy z tych elementów oddziałowujących na badane środowisko jest źródłem hałasu. Oznacza to, że problem jest zauważony, ale zmiany klimatu akustycznego nie są rejestrowane przez monitorujących środowisko przyrodników, jak również znaczenie tych zmian w ogóle nie jest brane pod uwagę w analizie stanu środowiska.

Pisząc tą książkę naszym głównym celem jest zwrócenie uwagi na temat propagacji hałasu na terenach przyrodniczo cennych, łącząc tematy związane z pejzażem akustycznym.

Choć należałoby zwrócić uwagę również na wiele innych aspektów poruszanych tematów, choćby takich jak:

- przyrodnicy powinni być wspomagani w badaniach przy tych gatunkach, dla których stan określany jest jako nieznany przez szybko rozwijającą się technikę
- ochrona przyrody i ochrona zdrowia człowieka staje się nauką interdyscyplinarną, badania wielu środowisk naukowych powinny zostać zintegrowane.

Literatura

[1] *Unijna strategia ochrony różnorodności biologicznej na okres do 2020 r.,* http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/biodiversity_2020/2020%20Biodiversity%20Factsheet_PL.pdf, dostęp wrzesień 2015.

[2] Sienkiewicz J. *Ochrona różnorodności biologicznej w krajach UE do 2020 r. – nowa strategia europejska,* Polish Journal of Agronomy, 2013, 14, 45–52

[3] Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory (Dz.U. L 206 z 22.7.1992, str. 7)

[4] Oddziaływania i zagrożenia dla gatunków zwierząt na podstawie wyników monitoringu w roku 2013, dokument http://siedliska.gios.gov.pl/pdf/siedliska/2013/wyniki_monitoringu_zwierzat_2013_zagrozenia.pdf dostęp wrzesień 2015

[5] Oddziaływania i zagrożenia dla gatunków zwierząt na podstawie wyników monitoringu w roku 2013 http://siedliska.gios.gov.pl/pdf/siedliska/2013/wyniki_monitoringu_zwierzat_2013_zagrozenia.pdf, dostęp wrzesień 2015

3. Źródła prawa dotyczące ochrony środowiska

3.1. Źródła prawa Unii Europejskiej

3.1.1 Pierwotne źródła prawa Unii Europejskiej

Traktaty założycielskie: Traktat o UE i Traktat o Funkcjonowaniu Unii Europejskiej (TFUE), traktaty zmieniające UE i załączone do nich protokoły oraz traktaty akcesyjne składają się na ***źródło prawa pierwotnego Unii Europejskiej.***

Regulacje dotyczące Ochrony Środowiska wprowadzono od 1986 po uchwaleniu **Jednolitego Aktu Europejskiego** do 2007 r. gdy przyjęto **Traktat z Lizbony**. W **TFUE** [1] w rozdziale XX zatytułowanym **Środowisko** w artykule 191 mamy zdefiniowane cele polityki Unii w dziedzinie środowiska naturalnego rozumiane w kontekście ochrony zarówno środowiska jak i zdrowia ludzkiego. W celach zdefiniowane są również zasady wykorzystywania zasobów naturalnych oraz promowania rozwiązań problemów środowiska naturalnego, w szczególności zwalczania zmian klimatu.

Do **zasad** wspólnotowego prawa ochrony środowiska zaliczamy:

- **zasadę ostrożności**, która w interpretacji prowspólnotowej oznacza, że jeżeli istnieje wystarczająco prawdopodobny związek pomiędzy zagrożeniem, a jego szkodliwymi dla środowiska lub dla człowieka skutkami to należy zastosować środki ochrony.
- **zasada „zanieczyszczający płaci"** oznaczająca, że pełne koszty działań mających na celu likwidację zanieczyszczenia powinien ponosić zanieczyszczający
- **zasada wysokiego poziomu ochrony**
- **zasada usuwania szkód u źródła**.

Zgodnie z zaleceniami zawartymi w traktacie, choć za najważniejszy z celów uznano wyskoki poziom ochrony środowiska, to należy pamiętać o uwzględnieniu rachunku ekonomicznego podejmowanych działań i o gospodarczym oraz o społecznym rozwoju wszystkich obszarów.

3.1.2 Dyrektywy - źródła prawa pochodnego

Dyrektywy, rozporządzenia i decyzje to ***źródła prawa pochodnego*** **Unii Europejskiej.** Do najważniejszych dyrektyw mających za zadanie ochronę zagrożonych siedlisk i gatunków zaliczamy **Dyrektywę Ptasią i Dyrektywę Siedliskową.**

Dyrektywa Ptasia [2] to **Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/147/WE z dnia 30 listopada 2009 r. w sprawie ochrony dzikiego ptactwa (**wcześniej Dyrektywa Rady 79/409/EWG z dnia 2 kwietnia 1979 r. w sprawie ochrony dzikiego ptactwa). Zawarte jest w niej wezwanie do wspólnej odpowiedzialności za ptaki, ich jaja, gniazda i naturalne siedliska. W związku z tym, że ochrona ptactwa, nadal stanowi problem, w artykule 10 tej dyrektywy pojawia się zaproszenie do przeprowadzenia badań naukowych. Wśród siedmiu proponowanych tematów badawczych umieszczonych w **Załączniku V** Dyrektywy żaden nie odnosi się bezpośrednio do wpływu klimatu akustycznego na poziomy populacji gatunków ptactwa. Najbliższy zainteresowaniom naukowym autorów tej monografii jest temat: *Wykaz i opis ekologiczny obszarów szczególnie istotnych dla gatunków wędrownych na trasach ich migracji oraz terenach zimowania i zakładania gniazd.*

Dyrektywa Siedliskowa [3] to **Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory**. Siedliska przyrodnicze zdefiniowane są jako *obszary lądowe lub wodne wyodrębnione w oparciu o cechy geograficzne, abiotyczne i biotyczne, zarówno całkowicie naturalne, jak i pół naturalne*. Art. 3 ust. 1 Dyrektywy Siedliskowej narzucił powstanie europejskiej sieci ekologicznej **Natura 2000**. Obszary, na których występują

- rzadkie i zagrożone wyginięciem siedliska przyrodnicze
- siedliska określonych gatunków roślin i zwierząt (oprócz ptaków)

nazwano **obszarami Natura 2000** i nadano im nazwę **Specjalnej Ochrony Siedlisk** (w skrócie: **SOO,** obszary „siedliskowe"). Do sieci **Natura 2000** zostały włączone **Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków** (**OSO**, obszary „ptasie). Spójność podejścia do obu typów obszarów poprzez stosowanie podobnych wymogów i rozwiązań jest mocną stronę wspomnianych powyżej dyrektyw.

Dyrektywy Ptasia i Siedliskowa stworzyły zasady ochrony obszarów przyrodniczo cennych w Europie: Dyrektywy nie określają kar za nieprzestrzeganie postanowień i nie wskazują źródeł finansowania zadań, które mają być podjęte w ramach ochrony obszarów. Dodatkowo wszystkie działania wspierające ochronę przyrody muszą uwzględniać wymagania gospodarcze, społeczne, kulturowe i regionalne.

Z punktu widzenia ochrony środowiska przy równoczesnym rozwoju gospodarczym ważne są również następujące dyrektywy regulujące oceny oddziaływania na środowisko:

- **Dyrektywa Rady 97/11/EC** z dnia 3 marca 1997 r. [4] poprawiająca Dyrektywę 85/337/EEC w sprawie oceny skutków dla środowiska niektórych publicznych i prywatnych przedsięwzięć
- **Dyrektywa 2004/35/WE Parlamentu Europejskiego i Rady** [5] z dnia 21 kwietnia 2004 r. w sprawie odpowiedzialności za środowisko w odniesieniu do zapobiegania i zaradzania szkodom wyrządzonym środowisku naturalnemu.
- **Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE** [6] z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla, której celem jest doprowadzenie do ustabilizowania koncentracji gazów cieplarnianych w powietrzu na poziomie, który zapobiegałby niebezpiecznej ingerencji antropogenicznej w system klimatyczny.

- **Dyrektywa 2001/42/WE Parlamentu Europejskiego I Rady z dnia 27 czerwca 2001** r. w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko [7]
- **Dyrektywa 2003/35/WE Parlamentu Europejskiego I Rady [8]** z dnia 26 maja 2003 r. przewidująca udział społeczeństwa w odniesieniu do sporządzania niektórych planów i programów w zakresie środowiska **Dyrektywa Rady 85/337/EWG** oraz zmieniająca w odniesieniu do udziału społeczeństwa i dostępu do wymiaru sprawiedliwości **Dyrektywa Rady 96/61/WE.**

3.1.3 Wtórne oraz pomocnicze źródła prawa Unii Europejskiej

Na źródła prawa wtórnego składają się

- **akty jednostronne** - rozporządzenia, decyzje, opinie i zalecenia, komunikaty, białe1 i zielone2 księgi
- **akty umowne** -umowy między państwami członkowskimi oraz umowy międzynarodowe i międzyinstytucjonalne.

Na źródła prawa pomocniczego składają się orzecznictwa. Prawo jest egzekwowane przez Komisję Europejską, rozstrzyganie sporów należy do **Trybunału Sprawiedliwości**. W orzecznictwie Trybunał Sprawiedliwości powołuje się na międzynarodowe prawo publiczne oraz na ogólne zasady prawa. Zgodnie ze sprawozdaniem rocznym KE w 2014 roku najczęściej prowadzono postępowania w sprawach związanych ze środowiskiem, transportem, rynkiem wewnętrznym i usługami [19].

3.2 Ustawodawstwo polskie związane z ochroną przyrody i nowymi przedsięwzięciami

Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ***ochronie przyrody*** [9] dokonuje wdrożenia nie tylko wspomnianych w poprzednim rozdziale **Dyrektyw Ptasiej i Siedliskowej** ale i Dyrektywy **Rady 1999/22/WE** [10] z dnia 29 marca 1999 r. dotyczącej trzymania dzikich zwierząt w ogrodach zoologicznych oraz **Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady**

---

1 (ang. White Papers) dokument, zawierający propozycje dotyczące działań UE w wybranej dziedzinie i zawierają z reguły podsumowanie konsultacji dotyczących sposobu uregulowania tej dziedziny.

2 (ang. Green Paper), to dokumenty które mają na celu rozpoczęcie dyskusji lub procesu konsultacji w wybranej dziedzinie.

2008/56/WE [11] z dnia 17 czerwca 2008 r. ustanawiającej ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego.

Cele ochrony przyrody, między innymi takie jak utrzymanie procesów ekologicznych i stabilności ekosystemów, zachowanie różnorodności biologicznej, utrzymywanie lub przywracanie do właściwego stanu ochrony siedlisk przyrodniczych, są zgodne celami zawartymi w w/w ustawach i realizowane przez uwzględnianie narzuconych wymagań w strategiach i w programach ochrony.

Zgodnie z artykułem 6.1 formami ochrony przyrody w Polsce objęte są: **parki narodowe, rezerwaty przyrody, pomniki przyrody, stanowiska dokumentacyjne, użytki ekologiczne ochrona gatunkowa roślin, zwierząt i grzybów**. Na tych obszarach jest ustanowiony zakaz wprowadzania nowych inwestycji. Nowe przedsięwzięcia mogą powstawać na następujących chronionych terenach: w **parkach krajobrazowych, na obszarach Natura 2000, na obszarach chronionego krajobrazu i w zespołach przyrodniczo-krajobrazowych**.

W celu uzyskania zgody na nowe inwestycje, jeśli zachodzi podejrzenie, że dane przedsięwzięcie będzie oddziaływać na obszar chroniony, należy zastosować procedurę **oceny oddziaływania na środowisko** (OOŚ). Postępowanie OOŚ regulowane jest przez następujące akty prawne:

- **Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko** [12]
- **Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska**. [13]
- **Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym** [14]
- **Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko** [15]

W zatwierdzonych przez odpowiednie organy właściwe **decyzjach o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia** określany jest zakres monitoringu i znajdują się opcje minimalizowania negatywnego wpływu.

Koncepcja przestrzennego zagospodarowania kraju, województwa czy gminy również wymaga ekofizycznego opracowania. W tym wypadku mamy do czynienia **ze strategiczną oceną oddziaływania na środowisko**, która posiada odmienną procedurę postepowania. Przeprowadzenie strategicznej oceny oddziaływania wymagają polityki, strategie, plany lub programy nie tylko te, które są związane z ochroną obszarów przyrodniczo cennych, ale i te, które są opracowywane lub przyjmowane przez organy administracji i mogą znacząco oddziaływać na środowisko. Są to zadania inwestycje w dziedzinach przemysłu, telekomunikacji, energetyki, transportu gospodarki wodnej, gospodarki odpadami, rybołówstwa, leśnictwa, turystyki, rolnictwa i wykorzystania terenu. Procedura **strategicznej oceny oddziaływania na środowisko** wymaga uzgodnienia zakresu i stopnia szczegółowości informacji wymaganych w prognozie, sporządzenia prognozy i umieszczenia informacji o metodach zastosowanych przy sporządzaniu prognozy, uzyskanie wymaganych ustawą opinii, zapewnienie możliwości udziału społeczeństwa i sporządzenie podsumowania. Konieczne są też informacje o możliwym transgranicznym oddziaływaniu na środowisko i propozycje przewidywanych metod analizy oraz częstotliwości jej przeprowadzania skutków realizacji.

3.3 Program ochrony środowiska przed hałasem

W każdym kraju istnieją związki przyczynowo - skutkowe pomiędzy stanem środowiska naturalnego, rozwojem społeczno-gospodarczym oraz stanem zdrowia i jakością życia jego obywateli.

Hałas w środowisku, zgodnie z artykułem **3 Dyrektywy Hałasowej 2002/49/WE** [16], to *niepożądane lub szkodliwe dźwięki powodowane przez działalność człowieka w środowisku*. Oznacza to, że hałas towarzyszy wielu obszarom działalności człowieka [17]. Ocena oddziaływania hałasu odnosi się przede wszystkim do jego wpływu na zdrowie i funkcjonowanie wszystkich ludzi. **Dyrektywa Hałasowa** definiuje następujące terminy powiązane z hałasem:

- ***szkodliwe skutki*** oznaczające niekorzystne oddziaływanie na zdrowie ludzkie,
- ***dokuczliwość*** oznaczającą stopień uciążliwości hałasu dla społeczności, ustalony na podstawie badań w terenie,
- ***wskaźnik hałasu*** - oznacza fizyczną skalę, stosowaną do określenia hałasu w środowisku, mającą związek z jego szkodliwym skutkiem.

U podstaw europejskiej sieci ekologicznej **Natura 2000**, jak wspomniano wcześniej, leżą dwie dyrektywy: *dyrektywa o ochronie naturalnych siedlisk i dziko żyjącej flory i fauny* (tzw. dyrektywa siedliskowa [3]) oraz *o ochronie dziko żyjących ptaków* (tzw. dyrektywa ptasia [2]). Sieć Natura 2000 [3] jest instrumentem rozwoju zrównoważonego zapisanego w Polityce Ekologicznej Państwa Polskiego [18]. Według danych Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska sieć Natura 2000 w Polsce zajmuje prawie 20% powierzchni lądowej, a w jej skład wchodzi 849 obszarów siedliskowych oraz 145 obszarów ptasich. Ochrona różnorodności biologicznej w kraju winna odbywać się z uwzględnieniem i poszanowaniem interesów społeczności lokalnych, przy udziale i współpracy wszystkich zainteresowanych stron. **Jednym z ważnych aspektów ochrony środowiska naturalnego wynikającym bezpośrednio z ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska (POŚ) jest ochrona przed hałasem.** W ustawie program ochrony rozumiany jest jako zmniejszanie poziomu hałasu co najmniej do dopuszczalnego.

Przez teren zagrożony hałasem rozumie się teren, na którym są przekroczone dopuszczalne poziomy hałasu, określone wskaźnikami oceny hałasu czyli parametrami hałasu określonymi poziomem dźwięku A wyrażonym w decybelach (dB), w tym:

1) wskaźniki hałasu mające zastosowanie do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony środowiska przed hałasem, w szczególności do sporządzania map akustycznych, o których mowa w art. 118 ust. 1, oraz programów ochrony środowiska przed hałasem, o których mowa w art. 119 ust. 1:
    a) L_{DWN} – długookresowy średni poziom dźwięku A wyrażony w decybelach (dB), wyznaczony w ciągu wszystkich dób w roku, z uwzględnieniem pory dnia (rozumianej jako przedział czasu od godz. 6^{00} do godz. 18^{00}), pory wieczoru (rozumianej jako przedział czasu od godz. 18^{00} do godz. 22^{00}) oraz pory nocy (rozumianej jako przedział czasu od godz. 22^{00} do godz. 6^{00}).
    b) L_N – długookresowy średni poziom dźwięku A wyrażony w decybelach (dB), wyznaczony w ciągu wszystkich pór nocy w roku (rozumianych jako przedział czasu od godz. 22^{00} do godz. 6^{00});

2) wskaźniki hałasu mające zastosowanie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska w odniesieniu do jednej doby:
   a) $L_{Aeq\ D}$ – równoważny poziom dźwięku A dla pory dnia (rozumianej jako przedział czasu od godz. 6^{00} do godz. 22^{00}),
   b) $L_{Aeq\ N}$ – równoważny poziom dźwięku A dla pory nocy (rozumianej jako przedział czasu od godz. 22^{00} do godz. 6^{00}).

Artykuł 113 **POŚ** stanowi, że minister właściwy do spraw środowiska ustala w rozporządzeniu zróżnicowane dopuszczalne poziomy hałasu określone wskaźnikami hałasu L_{DWN}, L_N, $L_{Aeq\ D}$ i $L_{Aeq\ N}$ dla następujących rodzajów terenów przeznaczonych:

a) pod zabudowę mieszkaniową,
b) pod szpitale i domy opieki społecznej,
c) pod budynki związane ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży,
d) na cele uzdrowiskowe,
e) na cele rekreacyjno-wypoczynkowe,
f) na cele mieszkaniowo-usługowe;

oraz poziomy hałasu z uwzględnieniem rodzaju obiektu lub działalności będącej źródłem hałasu i okresy, do których odnoszą się poziomy hałasu, jako czas odniesienia.

W rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. [17] zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku podano dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku (tab. 3.1 i tab. 3.2).

W Tabelach pokazano dopuszczalne wartości dla różnych kategorii terenów chronionych akustycznie. Dopuszczalny poziom dźwięku A w środowisku zależy od funkcji urbanistycznej terenu. Wiele obszarów leśnych można określić jako tereny kategorii 3c *„Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe”*, ale czy są one chronione akustycznie? Potrzeba ochrony przed hałasem i drganiami jest uwzględniana w programach działań z zakresu ochrony i kształtowania środowiska. Obejmuje również swoim zainteresowaniem problematykę zrównoważonego rozwoju, co wiąże się z definiowaniem jakości życia oraz sposobów korzystania ze środowiska i jego zasobów przez obecne i przyszłe pokolenia mieszkańców. Są to problemy występujące w skali globalnej, w całym kraju jak i w lokalnych społecznościach.

W książce poruszamy wybrane problemy związane z klimatem akustycznym Puszczy Niepołomickiej.

Tabela 3.1

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{AeqD} i L_{AeqN}, które to wskaźniki mają zastosowanie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby.

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalny poziom hałasu w [dB]			
		Drogi lub linie kolejowe[1)]		Pozostałe obiekty i działalność będąca źródłem hałasu	
		przedział czasu odniesienia równy			
		16 h	8 h	8 h	1 h najmniej korzystnej nocy
		L_{AeqD}	L_{AeqN}	L_{AeqD}	L_{AeqN}
1	a) Strefa ochronna „A" uzdrowiska b) Tereny szpitali poza miastem	**50**	**45**	**45**	**40**
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży[2)] c) Tereny domów opieki społecznej d) Tereny szpitali w miastach	**61**	**56**	**50**	**40**
3	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny zabudowy zagrodowej c) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe[2)] d) Tereny mieszkaniowo-usługowe	**65**	**56**	**55**	**45**
4	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców[3)]	**68**	**60**	**55**	**45**

Objaśnienia:

[1)] Wartości określone dla dróg i linii kolejowych stosuje się także dla torowisk tramwajowych poza pasem drogowym i kolei linowych.

[2)] W przypadku niewykorzystywania tych terenów, zgodnie z ich funkcją, w porze nocy, nie obowiązuje na nich dopuszczalny poziom hałasu w porze nocy.

[3)] Strefa śródmiejska miast powyżej 100 tys. mieszkańców to teren zwartej zabudowy mieszkaniowej z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych. W przypadku miast, w których występują dzielnice o liczbie mieszkańców powyżej 100 tys., można wyznaczyć w tych dzielnicach strefę śródmiejską, jeżeli charakteryzuje się ona zwartą zabudową mieszkaniową z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych.

Tabela 3.2.

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{DWN} i L_N, które to wskaźniki mają zastosowanie do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony przed hałasem

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalny długookresowy średni poziom dźwięku A w dB			
		Drogi lub linie kolejowe[1)]		Pozostałe obiekty i działalność będąca źródłem hałasu	
		L_{DWN} przedział czasu odniesienia równy wszystkim dobom w roku	**L_N** przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy	**L_{DWN}** przedział czasu odniesienia równy wszystkim dobom w roku	**L_N** przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy
1	a) Strefa ochronna „A" uzdrowiska b) Tereny szpitali poza miastem	**50**	**45**	**45**	**40**
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży c) Tereny domów opieki społecznej d) Tereny szpitali w miastach	**64**	**59**	**50**	**40**
3	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny zabudowy zagrodowej c) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe d) Tereny mieszkaniowo-usługowe	**68**	**59**	**55**	**45**
4	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców[2)]	**70**	**65**	**55**	**45**

Objaśnienia:

[1)] Wartości określone dla dróg i linii kolejowych stosuje się także dla torowisk tramwajowych poza pasem drogowym i kolei linowych.

[2)] Strefa śródmiejska miast powyżej 100 tys. mieszkańców to teren zwartej zabudowy mieszkaniowej z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych. W przypadku miast, w których występują dzielnice o liczbie mieszkańców powyżej 100 tys., można wyznaczyć w tych dzielnicach strefę śródmiejską, jeżeli charakteryzuje się ona zwartą zabudową mieszkaniową z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych.

3.4 Ustawa krajobrazowa

Ustawa z dnia 24 kwietnia 2015 r. o zmianie niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu [18] wprowadza szereg zmian w prawodawstwie polskim. W **ustawie z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym** definiuje pojęcie ***krajobrazu priorytetowego szczególnie cennego dla społeczeństwa między innymi ze względu na swoje wartości przyrodnicze***. Do artykułu 400a. **ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska** w ust. 1 po pkt 25 dodano, że w ramach środków przeznaczonych na ochronę środowiska należy finansować opracowywania audytów krajobrazowych. Audyty powinny się odbywać nie rzadziej niż raz na 20 lat dla obszaru województwa. Zadaniami audytu jest identyfikacja krajobrazu poprzez określenie cech charakterystycznych danego obszaru, ocena ich wartości, a także ustalenie zagrożeń dla zachowania wartości krajobrazu. W szczególności audyt wskazuje lokalizację i granice parków narodowych, rezerwatów przyrody, parków krajobrazowych, obszarów chronionego krajobrazu, obiektów znajdujących się na listach Światowego Dziedzictwa UNESCO oraz obszarów Sieci Rezerwatów Biosfery UNESCO lub obszarów i obiektów proponowanych do umieszczenia na tych listach. Ustawa daje możliwość do stosowania bardziej restrykcyjnych przepisów dla parków krajobrazowych oraz dla obszarów chronionego krajobrazu. Zarząd województwa sporządza projekt audytu krajobrazowego, projekt uchwala sejmik województwa, który z kolei jest zobowiązany do zasięgnięcia opinii między innymi regionalnego dyrektora ochrony środowiska, dyrektorów parków narodowych i krajobrazowych położonych w analizowanych granicach. Przed uchwaleniem projekt zostaje wyłożony do publicznego wglądu na okres co najmniej 30 dni. Zgłaszane uwagi są rozpatrywane i w zależności od ich zasadności uwzględniane lub nie. Jednakże rada gminy może odmówić uzgodnienia projektu uchwały, w przypadku, gdy wartości jakie obszar chronionego krajobrazu ma chronić są nieproporcjonalne do wartości jakie przyniósłby rozwój gminy.

Literatura

Akty prawne:

[1] Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej (Dz.Urz. UE nr C 115 z 9.5.2008 r., s. 47 i n.);

[2] Dyrektywa Rady 79/409/EWG z dnia 2 kwietnia 1979 r. w sprawie ochrony dzikiego ptactwa (Dz. Urz. WE L 103 z 25.04.1979, str. 1, z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 1, str. 98, z późn. zm.);

[3] Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory (Dz. Urz. WE L 206 z 22.07.1992, str. 7, z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 2, str. 102, z późn. zm.)

[4] Dyrektywa Rady 97/11/EC z dnia 3 marca 1997 r. [4] poprawiająca Dyrektywę 85/337/EEC w sprawie oceny skutków dla środowiska niektórych publicznych i prywatnych przedsięwzięć, Dz.U.2001nr 62 poz. 627, http://isap.sejm.gov.pl/RelatedServlet?id=WDU20010620627&type=15

[5] Dyrektywa 2004/35/WE Parlamentu Europejskiego i Rady[5] z dnia 21 kwietnia 2004 r. w sprawie odpowiedzialności za środowisko w odniesieniu do zapobiegania i zaradzania szkodom wyrządzonym środowisku naturalnemu. M.P. 2011 nr 38 poz. 425, http://isap.sejm.gov.pl/RelatedServlet;jsessionid=1AFB022CC5E660F7D7A4E6A5B40E26D4?id=WMP20110380425&type=15&isNew=true

[6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla, której celem jest doprowadzenie do ustabilizowania koncentracji gazów cieplarnianych w powietrzu na poziomie, który zapobiegałby niebezpiecznej ingerencji antropogenicznej w system klimatyczny. Dz. Urz. UE L 140/114

[7] Dyrektywa 2001/42/WE Parlamentu Europejskiego I Rady z dnia 27 czerwca 2001r. w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko, Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627, http://isap.sejm.gov.pl/RelatedServlet?id=WDU20010620627&type=15

[8] Dyrektywa 2003/35/WE Parlamentu Europejskiego I Rady z dnia 26 maja 2003 r. przewidująca udział społeczeństwa w odniesieniu do sporządzania niektórych planów i programów w zakresie środowiska oraz zmieniająca w odniesieniu do udziału społeczeństwa i dostępu do wymiaru sprawiedliwości Dyrektywy Rady 85/337/EWG i 96/61/WE, Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627 http://isap.sejm.gov.pl/RelatedServlet?id=WDU20010620627&type=15

[9] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody, Dz.U. 2004 nr 92 poz. 880, http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20040920880

[10] Dyrektywa Rady 1999/22/WE z dnia 29 marca 1999 r. dotyczącej trzymania dzikich zwierząt w ogrodach zoologicznych , (Dz. Urz. WE L 94 z 09.04.1999, str. 24; Dz. Urz. UE Polskie, wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 4, str. 140);

[11] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE z dnia 17 czerwca 2008 r. ustanawiającej ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego (dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej) (dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej) (Dz. Urz. UE L 164 z 25.06.2008, str. 19)

[12] Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1227 http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20081991227

[13] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. Dz.U. 2001 nr 62,poz. 627, http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20010620627

[14] Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, Dz.U. 2003 nr 80 poz. 717, http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20030800717

[15] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. Dz.U. 2010 nr 213 poz. 1397 http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20102131397

[16] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku, http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=uriserv:l21180
[17] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r, Dz.U. 2012 poz. 1109, http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20120001109
[18] Ustawa z dnia 24 kwietnia 2015 r. o zmianie niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu

Strony www:

[19] http://ec.europa.eu/polska/news/150709_prawa_pl.htm, dostęp wrzesień 2015

4. Klimat akustyczny na obszarach leśnych

Jednym z najbardziej intensywnych czynników fizycznych (bodźców) występujących w środowisku naturalnym jest dźwięk. Jest on bogatym źródłem informacji i ma szczególne znaczenie dla ludzi. Człowiek odbiera go nie tylko przez organ słuchu, ale również całym ciałem. Zatem człowiek zanurzony jest w świecie dźwięków, które są właściwe danemu miejscu i czasowi. Dźwięk jest integralnie powiązany z określoną przestrzenią geograficzną, dynamizując i dopełniając ją symptomami życia, głębi i przestrzeni. Jest on obecny w krajobrazie zarówno naturalnym, jak i kulturowym. W krajobrazie miejskim dominującymi są dźwięki pochodzenia przemysłowego, drogowego i komunalnego. Krajobraz wiejski jest nasycony dźwiękiem wnikającym we wszystkie dziedziny życia społecznego, często powiązany z kulturą ludową i etnografią. Szczególne znaczenie ma w nim muzyka, nazwana "sztuką myślenia dźwiękami" [2]. Pierwszym badaczem folkloru wsi polskiej był etnograf, folklorysta i kompozytor Oskar Kolberg (1814-1890). Jemu zawdzięczamy zapis muzyczny melodii kultury polskiej wieku XIX, przekazany w 33 księgach dzieła *Lud. Jego zwyczaje, sposób życia, mowa, podania, przysłowia, obrzędy, gusła, zabawy, pieśni, muzyka i tańce* [11]. Zostawił po sobie spuściznę uważaną za najcenniejszą dla polskiej etnografii muzycznej.

Charakterystyczny świat dźwięków występuje również w lesie, jednak próżno szukać w definicji lasu pojęcia dźwięk. Wybitny polski leśnik- ekolog i entomolog, wieloletni dyrektor Białowieskiego Parku Narodowego profesor Jan Jerzy Karpiński (1896-1965) podał następującą definicję:

Las (biocenoza leśna) - dynamiczny twór przyrody, w którym są zespolone w niepodzielną całość układem zależności, powiązań i wzajemnych wpływów: określona roślinność z przeważającym udziałem form drzewiastych, związanych z nim zwierzętami oraz wykorzystywane przez rośliny i zwierzęta podłoże geologiczne, gleba, woda i klimat [13].

Czy w tej definicji występuje słowo *dźwięk*? Przestrzeń lasu jest wypełniona różnorodnymi dźwiękami, które są istotnym składnikiem specyficznej atmosfery lasu.

Czym jest dźwięk? Z fizycznego punktu widzenia, dźwięk powstaje wskutek drgań ciał lub cząstek powietrza i rozprzestrzenia się w nim w postaci fali akustycznej. W życiu człowieka pełni on ważne funkcje. Przede wszystkim jest on podstawowym środkiem komunikacji werbalnej, nośnikiem wielu rodzajów informacji i elementem doznań słuchowych. Postrzegany jako hałas, wywiera szkodliwy wpływ na psychikę i zdrowie ludzkie, a to wymaga zdecydowanego działania na rzecz redukcji jego przyczyn.

Postęp cywilizacji związany jest ze stopniowym przekształcaniem środowiska naturalnego, dostosowywania go do często doraźnych potrzeb człowieka. Jednak forma tych przekształceń najczęściej kwalifikowana jest jako degradacja jego naturalnej jakości. W zakresie akustyki zmiany w środowisku polegają na tym, że do naturalnych źródeł emitujących dźwięk (burze, uderzenia morskich fal, szum strumieni i rzek, wodospady, wiatr, wulkany, trzęsienia ziemi, głosy ptaków i zwierząt itp.) wciąż dochodzą nowe źródła energii wibroakustycznej, powodujące pojawienie się w dotychczasowym otoczeniu człowieka

dźwięków nienaturalnych, niepożądanych, zakłócających jego normalny tryb życia, powodujących odczuwalne przykrości i wywołujących irytację.

4.1. Hałas w życiu i działalności człowieka

Słowo *hałas* w języku polskim ma kilka określeń np. hałas to wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub szkodliwe drgania mechaniczne ośrodka sprężystego, działające za pośrednictwem powietrza na organ słuchu i inne zmysły oraz narządy wewnętrzne organizmu człowieka.

Inna definicja nazywa hałasem wszystkie dźwięki, które powodują irytację, odczuwania przykrości i lęku, mogą rozpraszać uwagę, pogarszać przekazywanie informacji, utrudniać wykonywanie pracy. Obniżają subiektywnie odczuwaną jakość życia, ponieważ są w danym miejscu i w danym czasie niechciane i nietolerowane [8].

Hałasem są też zjawiska akustyczne (niewywołujące wymienionych wcześniej wrażeń), które sami generujemy (np. głośna mowa, śmiech, muzyka itp.), wówczas, gdy ich fizyczne parametry (zwłaszcza wysoki poziom), są powodem wystąpienia potencjalnej lub faktycznej szkodliwości dla szeroko pojętego zdrowia człowieka.

Hałasem nazywa się również, często szkodliwe dla zdrowia, fale akustyczne o częstotliwościach niewywołujących żadnych wrażeń słuchowych – hałas infradźwiękowy i ultradźwiękowy.

Trudności w jednoznacznej definicji hałasu wynikają z tego, że hałas jest zjawiskiem szczególnie subiektywnym. Powszechność jego występowania we wszystkich obszarach życia człowieka czyni hałas dolegliwością – jedną z najbardziej dokuczliwych i występującą wszędzie tam gdzie żyje człowiek.

W każdym kraju istnieją związki przyczynowo - skutkowe pomiędzy stanem środowiska naturalnego i rozwojem społeczno-gospodarczym, a stanem zdrowia i jakością życia jego obywateli. Hałas w środowisku, zgodnie z określeniem zamieszczonym w artykule 3 Dyrektywy Hałasowej 2002/49/WE, to niepożądane lub szkodliwe dźwięki powodowane przez działalność człowieka w środowisku. Oznacza to, że hałas towarzyszy wielu obszarom działalności człowieka [5]. Ocena oddziaływania hałasu odnosi się przede wszystkim do jego wpływu na zdrowie i funkcjonowanie człowieka. Europejska Dyrektywa Hałasowa definiuje następujące terminy powiązane z hałasem:

- „szkodliwe skutki" – co oznacza niekorzystne oddziaływanie na zdrowie ludzkie,
- „dokuczliwość" - oznacza stopień uciążliwości hałasu dla społeczności, ustalony na podstawie badań w terenie,
- „wskaźnik hałasu" - oznacza fizyczną skalę, stosowaną do określenia hałasu w środowisku, mającą związek z jego szkodliwym skutkiem.

Hałas oddziałuje na człowieka w sferze fizjologicznej i psychologicznej, zakłócając podstawowe czynności takie jak porozumiewanie się, odpoczynek, sen czy naukę. Ze skutkami hałasu występującego w środowisku spotyka się wielu mieszkańców Europy. W krajach europejskich wzrasta liczba skarg związanych z hałasem w środowisku. W Zielonej Księdze, dokumencie Unii Europejskiej — Przyszła polityka zwalczania hałasu — stwierdza się, że około 20% ludności w Unii narażonych jest na hałas na poziomie nieakceptowalnym, ponieważ może on prowadzić do rozdrażnienia, zakłóceń snu i innych szkodliwych skutków dla zdrowia [14]. Według oceny Światowej Organizacji Zdrowia około 40% ludności w Unii Europejskiej jest narażone na hałas związany z ruchem drogowym o po-

ziomie dźwięku A przekraczającym 55 dB, a ponad 30 % społeczeństwa doświadcza hałasu o poziomie dźwięku A wyższym niż 55 dB w godzinach nocnych [14]. Należy wspomnieć, że przez wiele lat skutki oddziaływania hałasu na zdrowie człowieka pozostawały nierozpoznane.

U podstaw europejskiej sieci ekologicznej Natura 2000 leżą dwie dyrektywy: *dyrektywa o ochronie naturalnych siedlisk i dziko żyjącej flory i fauny* (tzw. dyrektywa siedliskowa [7]) oraz *o ochronie dziko żyjących ptaków* (tzw. dyrektywa ptasia [6]). Sieć Natura 2000 jest instrumentem rozwoju zrównoważonego zapisanego w Polityce Ekologicznej Państwa Polskiego [22]. Według danych Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska sieć Natura 2000 w Polsce zajmuje prawie 20% powierzchni lądowej, a w jej skład wchodzi 849 obszarów siedliskowych oraz 145 obszarów ptasich. Ochrona różnorodności biologicznej w kraju winna odbywać się z uwzględnieniem i poszanowaniem interesów społeczności lokalnych, przy udziale i współpracy wszystkich zainteresowanych stron. Jednym z ważnych aspektów ochrony środowiska naturalnego wynikającym bezpośrednio z ustawy Prawo Ochrony Środowiska jest ochrona przed hałasem [34].

4.2. Klimat akustyczny w środowisku naturalnym

W relacji hałas - człowiek funkcjonują zależności między mierzalnymi wielkościami fizycznymi charakteryzującymi dźwięk, a statystycznie opracowanymi efektami jego działania na człowieka. Skutki działania hałasu są konsekwencjami psychofizjologicznego procesu. Do oceny tych skutków wprowadza się tzw. wskaźniki oceny hałasu. Kryterium poprawności konstrukcji wskaźnika oceny jest dobra korelacja miary dokuczliwości lub szkodliwości hałasu z wartością liczbową wskaźnika. Takimi wskaźnikiem jest na przykład poziom dźwięku A L_{Aeq}, (poziom dźwięku ważony filtrem A), który okazał się najlepiej skorelowany z subiektywną percepcją hałasu przez człowieka.

Historia zastosowania filtru A do pomiarów hałasu sięga lat trzydziestych XX wieku. Wtedy zaczęto zwracać uwagę na wpływ hałasu na człowieka. W pracy Fletcher'a i Munson'a opublikowanej w 1933 r. "Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation" przedstawiono m.in. informację o zależności odczuwalnej głośności od poziomu dźwięku. Trzy lata później został opublikowany pierwszy, amerykański standard pomiarów poziomu dźwięku z uwzględnieniem krzywych korekcyjnych. W latach pięćdziesiątych XX wieku używanie filtru A w pomiarach akustycznych zostało uwzględnione w standardach ISO, a w latach sześćdziesiątych weszło na stałe do użytku przy pomiarach służących do określenia zagrożenia słuchu.

Poziom dźwięku mierzony filtrem A uznany został za wielkość charakterystyczną oceny hałasu, stając się podmiotem normalizacji zarówno w zakresie zaleceń pomiarowych jak i wykorzystania przy ustaleniu kryteriów oceny hałasu i jego dokuczliwości w środowisku.

Do opisu stanu akustycznego środowiska pracy lub środowiska naturalnego często używane jest pojęcie klimatu akustycznego. Określany jest on jako zespół zjawisk akustycznych występujących na danym obszarze, wywołanych przez występujące na nim źródła dźwięku.

Słowo "klimat" najczęściej kojarzone jest ze zjawiskami meteorologicznymi. Klimat (łac<gr), definiowany jest jako charakterystyczny dla danego obszaru zespół zjawisk i procesów atmosferycznych kształtujących się pod wpływem własności fizycznych i geo-

graficznych tego obszaru, określony na podstawie wyników wieloletnich obserwacji. Mikroklimat odzwierciedla bardzo lokalne "mikroskalowe" wpływy podłoża na warunki klimatyczne. Obrazuje on warunki klimatyczne na niewielkim obszarze o możliwie jednorodnym podłożu, wpływ ukształtowania terenu, ekspozycji, rodzaju gleby, szaty roślinnej i skutków działalności człowieka.

Klimat akustyczny K_A, określany jest najczęściej za pomocą odpowiednich wskaźników wyznaczanych w funkcji częstotliwości, czasu, przestrzeni i jest funkcją klimatów cząstkowych:

$$K_A = F(K_{a_1}, K_{a_2}, \ldots, K_{a_n}) \tag{4.1}$$

gdzie: K_{a2}, K_{a1}, ..., K_{an} - klimaty cząstkowe istniejące w danym obszarze środowiska.

Klimat cząstkowy zależy od poziomu hałasu generowanego przez poszczególne źródła dźwięku wchodzące w skład danej grupy źródeł:

$$K_{a_i} = f(L_{H_i}, \Delta_{LT}) \qquad i = 1, 2, \ldots, n \tag{4.2}$$

gdzie: L_{Hi} - poziomy ciśnienia akustycznego (ewentualnie poziomy mocy akustycznej) kolejnych źródeł hałasu danej grupy w określonym punkcie obserwacji;

Δ_{LT} – sumaryczne zmniejszenie poziomu ciśnienia akustycznego (ewentualnie poziomu mocy akustycznej) spowodowane wszystkimi czynnikami środowiska w czasie obserwacji T.

Jakość klimatu akustycznego środowiska określana jest równoważnym poziomem dźwięku A, L_{AeqT} wyznaczanym dla przedziału czasu oceny T i jest zależna od wielu zjawisk wibroakustycznych zachodzących w badanym środowisku.

Równoważny poziom dźwięku A L_{AeqT} to wartość poziomu ciśnienia akustycznego ciągłego ustalonego dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej A, która w określonym przedziale czasu T odniesienia jest równa średniemu kwadratowi ciśnienia akustycznego analizowanego dźwięku o zmiennym poziomie w czasie. Równoważny poziom hałasu wyznacza się zgodnie z normą PN-ISO 1996-1 [19-21]:

$$L_{Aeq,T} = 10log\left[\frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2}\frac{p_A^2}{p_0^2}dt\right] \text{ dB} \tag{4.3}$$

gdzie:

$L_{Aeq,T}$ - równoważny poziom dźwięku A w decybelach, wyznaczony dla przedziału czasu odniesienia T (od chwili t_1 do chwili t_2), dB

p_0 – wartość ciśnienia akustycznego odniesienia ($2 * 10^{-5}$ Pa),

p_A - chwilowa wartość ciśnienia akustycznego, mierzonego z filtrem A sygnału akustycznego, Pa.

Poziom równoważny L_{AeqT} jest jedną z wielu możliwych charakterystyk statystycznych poziomu dźwięku. Z rozwojem badań nad przydatnością wskaźników oceny hałasu pojawia się potrzeba uwzględniania również i innych jego cech, powiązanych z charakterystykami spektralnymi, czasem oddziaływania dźwięku.

Generowane przez różne systemy zjawiska wibroakustyczne mogą być stosunkowo dokładnie i precyzyjnie rejestrowane, jak również badane na płaszczyźnie ekstrakcji parametrów wibroakustycznych, tak czasowych jak i spektralnych. Trudności pojawiają się w momencie interpretacji zarejestrowanych danych w kontekście celów wynikających

z potrzeb praktyki. Dla skutecznej realizacji zadań związanych z diagnostyczną, prognostyczną lub kontrolną funkcją rejestracji zjawisk wibroakustycznych, nie wystarcza już sam tylko precyzyjny pomiar i perfekcja technik przetwarzania sygnału. Konieczne są również pogłębione i niestandardowe metody analizy, a zwłaszcza interpretacji sygnału, ukierunkowane na wnioskowanie o procesach, a nie na opis sygnału jako takiego. Brak ścisłych przesłanek, pozwalających na w pełni algorytmiczne odwzorowanie stanu procesu reprezentowanego przez sygnał wibroakustyczny na wielkość liczbową będącą miarą stopnia jego akceptowalności skłania do poszukiwania takiej formy modelu przetwarzania i analizy sygnału, w których proces wytworzenia odpowiednich reguł i metod transformacji sygnału można w znacznej części uczynić procesem automatycznym.

Według ustawy Prawo ochrony środowiska [34] oceny stanu akustycznego środowiska i obserwacji jego zmian dokonuje się w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Podstawą oceny są wyniki pomiarów poziomów hałasu określonych wskaźnikami hałasu L_{DWN} i L_N, z uwzględnieniem pozostałych danych, w szczególności demograficznych oraz dotyczących sposobu zagospodarowania i użytkowania terenu [26,28].

Obowiązujące przepisy prawne [34] określają Państwowy Monitoring Środowiska (PMŚ) jako źródło informacji o hałasie w środowisku. Ustawa ta nakłada obowiązek wspomagania działań na rzecz ochrony środowiska poprzez systematyczne informowanie organów administracji i społeczeństwa o:

- stanie środowiska,
- dotrzymywaniu standardów jakości środowiska,
- obszarach występowania przekroczeń tych standardów,
- trendach zmian jakości środowiska [15].

Stale powiększający się zasięg występowania hałasu poza tereny urbanistyczne wymaga zainteresowania się zastosowaniem monitoringu akustycznego również na obszarach leśnych.

Dobrze rozpoznane są negatywne skutki oddziaływania hałasu na człowieka w sferze somatycznej i psychologicznej. W świecie zwierząt narażenie na hałas może mieć różne skutki, na przykład zmieniać ważne życiowe cykle, takie jak migracje, zdobywanie pokarmu, rozrodczość. W przypadku oceny oddziaływania na faunę leśną, należałoby zastanowić się, który ze wskaźników oceny hałasu wskazać jako najbardziej odpowiedni do opisu klimatu akustycznego środowiska leśnego lub zaproponować nowe, dostosowane do percepcji dźwięku przez różne gatunki zwierząt.

W normie [17] hałas w środowisku zdefiniowany jest jako wszystkie dźwięki występującej w danej sytuacji i danym czasie, będące sumą dźwięków pochodzących z wielu źródeł położonych w różnych odległościach od punktu obserwacji. Hałas od pojedynczego źródła – to składnik hałasu w środowisku, który może być jednoznacznie zidentyfikowany metodami akustycznymi i można go przypisać do danego, określonego źródła.

Ochrona przed hałasem dotyczy przede wszystkim człowieka i jego siedzib, ale poznanie skutków oddziaływania hałasu na faunę leśną, a pośrednio również na florę wiąże się z prowadzeniem długoletnich obserwacji. Dla potrzeb analiz i pozyskiwania informacji z rejestrowanych sygnałów akustycznych należy opracować wskaźniki oceny hałasu skorelowane ze skutkami jego wpływu na klimat akustyczny środowiska leśnego oraz behawioryzm różnych gatunków fauny m.in.: ptaków, ssaków, bezkręgowców.

4.3. Las i jego dźwięki

Każdy las ma niepowtarzalny pejzaż dźwiękowy (*soundscape*) czyli jedną z najbardziej wyróżniających się charakterystycznych cech przestrzeni, w której przebywamy. Ta właściwość środowiska dźwiękowego w znacznej mierze decyduje o tym, jak postrzegamy lub zapamiętujemy daną przestrzeń.

Pojęcie *soundscape* wprowadził kanadyjski pisarz i kompozytor - Raymond Murray Schafer (1976), określając je jako "landscapes portrayed in sound". Zdefiniował go następująco „*Krajobraz dźwiękowy jest to kompleks elementów przyrodniczych oraz elementów wprowadzonych przez człowieka na naturalnie ograniczonym odcinku ziemi, będące źródłem aktualnie postrzeganych dźwięków, reprezentujących określone cechy estetyczne* i odpowiadających *za uzupełnianie widoku o określone informacje"* [31].
Krajobraz dźwiękowy jest indywidualną cechą każdej przestrzeni, a zmiany jego elementów są ważnym wskaźnikiem przekształceń środowiska naturalnego [2].

Genezą pejzażu dźwiękowego są jego trzy podstawowe źródła:
- *geofonia* inaczej odgłosy nie biologiczne, które słychać w każdym siedlisku, jak wiatr w drzewach, woda w strumieniu, fale nad brzegiem oceanu, ruchy ziemi.
- *biofonia*, wszystkie dźwięki żywych organizmów w danym siedlisku, w tym samym czasie i miejscu.
- *antrofonia* czyli dźwięki, które tworzy człowiek. Niektóre z tych dźwięków są kontrolowane, ale większość jest chaotyczna i niespójna

Bernard Krause, amerykański muzyk i bioakustyk, który wniósł znaczący wkład w rozwój wiedzy o pejzażach dźwiękowych, zdefiniował biofonię, geofonię i antrofonię jako główne czynniki budulcowe krajobrazu dźwiękowego [16].

Jedną z metod badawczych oceny krajobrazów dźwiękowych są badania ankietowe. Analiza wyników takich badań prowadzonych w Anglii pokazała, że z punktu widzenia człowieka najważniejszymi dźwiękami w środowisku to śpiew ptaków oraz szum płynącej wody (strumienie, potoki), a najmniej istotnymi są odgłosy wiatru.

Działalność człowieka, której towarzyszy nadmierna emisja hałasu jest równie niebezpieczna jak inne naruszenia wymagań środowiskowych. Człowiek adaptuje się do hałasu, bo często przemawia za tym jego interes ekonomiczny (miejsca pracy, źródła utrzymania, bezpieczeństwo energetyczne, postęp cywilizacyjny itp.). W świecie zwierząt, w którym pojęcia ekonomiczne nie istnieją, trudno wymagać akceptacji dla hałasu.

Ochrona przed hałasem to przede wszystkim zapewnienie odpowiedniego klimatu akustycznego środowiska. Realizowana jest poprzez dotrzymywanie wartości poziomu emitowanego hałasu poniżej wartości dopuszczalnych. A kiedy występują przekroczenia, podejmowanie właściwych działań celem obniżenia poziomu hałasu do poziomu dopuszczalnego.

W ustawie Prawo ochrony środowiska [34] hałas zdefiniowany jest jako dźwięki o częstotliwościach od 16 Hz do 16000 Hz. W definicji tej brakuje subiektywnej oceny dźwięków, ponieważ prawie wszystkie zjawiska akustyczne zachodzące w przyrodzie to dźwięki występujące w tym, ale także w szerszym zakresie częstotliwości, jak infradźwięki i ultradźwięki. Poszukując oceny oddziaływania hałasu na przedstawicieli fauny, możemy jedynie obserwować ich zachowanie i na tej podstawie wnioskować o reakcji na różne źródła dźwięku.

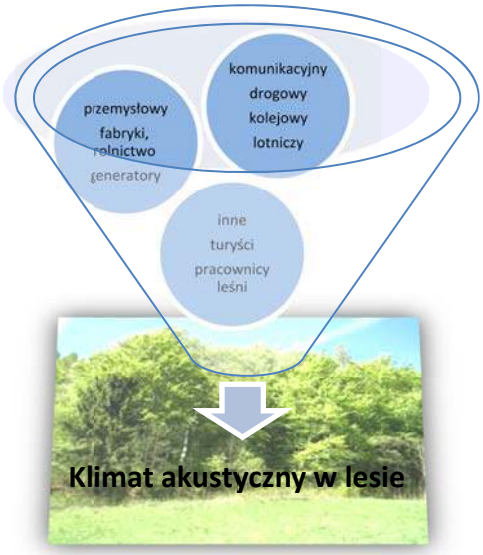
Hałas antropogeniczny występujący w obszarach leśnych to dźwięki pochodzenia (Rys.4.1):
- komunikacyjnego (czyli hałas drogowy, kolejowy, lotniczy),

- przemysłowego (hałas pochodzący od fabryk, stacji transformatorowych i linii energetycznych, przepompowni wody, gazu, ropy naftowej, kopalni odkrywkowych),
- gospodarstwa zagrodowe,
- prace rolne,
- inne.

Jako inne źródła hałasu występujące w lasach można wskazać odgłosy ruchu turystycznego, hałas prac leśnych (ścinki drzew, koszenie traw, przejazdy pojazdów służb leśnych itp.), odgłosy polowania i inne. Dźwięki te wplatają się w brzmienie ptaków i zwierząt, odgłosów zjawisk meteorologicznych, szumu strumieni, wodospadów itd.).

Biorąc pod uwagę lokalizację źródeł hałasu w stosunku do przestrzeni lasu możemy mówić o hałasie:

- zewnętrznym – dochodzącym do obszarów leśnych ze źródeł zewnętrznych (autostrady, kolej, zakłady przemysłowe, prace rolnicze, obiekty sportowe, przeloty samolotów, helikopterów);
- wewnętrznym (korytarze komunikacyjne prowadzone przez obszary zalesione, prace leśne, odgłosy zwierząt, zjawiska meteorologiczne).



Rys. 4.1 Antropogeniczne źródła hałasu kształtujące klimat akustyczny w obszarze leśnym

Szczególne znaczenie dla zmian w środowisku naturalnym w obszarach leśnych mają inwestycje związane z budową szlaków komunikacyjnych. W czasie ich realizacji występują tzw. krótkoterminowe i długoterminowe oddziaływania na środowisko. Do typowych krótkookresowych i odwracalnych oddziaływań związanych z prowadzeniem prac budowlanych zaliczamy m.in.: teren budowy wraz z powstającymi na nim bazami materiałowymi i sprzętowymi, ruch ciężkich pojazdów i związane z nim oddziaływania komunikacyjne oraz hałas, zanieczyszczenie powietrza (głównie pylenie), wibracje, oświetlenie, utrudnienie dostępności do istniejących dróg lub obiektów.

Do skutków długoterminowych, które odczuwalne będą w czasie eksploatacji inwestycji kwalifikujemy zmiany powstające w wyniku prac niwelacyjnych (wykopy, nasypy), wyburzenia obiektów. Zaliczyć można do nich powstające na etapie budowy zmiany zwią-

zane z rozbiórką istniejących obiektów budowlanych, wycinką pojedynczych drzew, istniejących zakrzewień i zadrzewień terenu. Istotne, trwałe przekształcenia w krajobrazie wynikają z powstawania nowych elementów infrastruktury technicznej takich jak: jezdnie drogi ekspresowej, jezdnie dróg dojazdowych, węzły drogowe, wiadukty i inne obiekty inżynieryjne będące infrastrukturą towarzyszącą. Nowym elementem w krajobrazie znacząco łagodzącym oddziaływanie nowej inwestycji drogowej będzie też zagospodarowanie terenu bezpośrednio przylegającego do drogi, a więc zieleń izolacyjna, pnącza na ekranach akustycznych, zieleń w rejonie przejść dla zwierząt oraz trawniki i łąki kwietne. Ekrany akustyczne stosowane są jako rozwiązania zmniejszające oddziaływania związane z emisją hałasu, jednak w niektórych przypadkach wpływają negatywnie na krajobraz powodując jego fragmentację fizyczną, funkcjonalną, a przede wszystkim wizualną.

Szczególnie niepożądanymi efektami oddziaływania hałasu w obszarach leśnych są przede wszystkim:

- negatywny wpływ na zwierzęta,
- obniżenie walorów turystycznych.

Badania ankietowe przeprowadzone wśród personelu polskich Parków Narodowych [3] pokazały, że najbardziej uciążliwymi źródłami hałasu jest hałas drogowy i głośne grupy odwiedzających parki, w następnej kolejności motocykliści, pracownicy leśni, samoloty i helikoptery i inne.

Wpływ hałasu, niezależnie od jego źródła, na walory turystyczne, rekreacyjne obszarów leśnych jest postrzegany jako zjawisko bardzo niepożądane. Las powszechnie uważany jest za miejsce relaksu i wypoczynku. Odpocząć w ciszy, uciec od gwaru miasta, posłuchać śpiewu ptaków i szumu drzew – to są nasze wyobrażenia o udanej wycieczce do lasu. Wśród odgłosów przyrody człowiek wypoczywa najlepiej. Poznanie walorów środowiska przyrodniczego to jeden z podstawowych celów sylwaturystyki czyli turystyki w lasach.

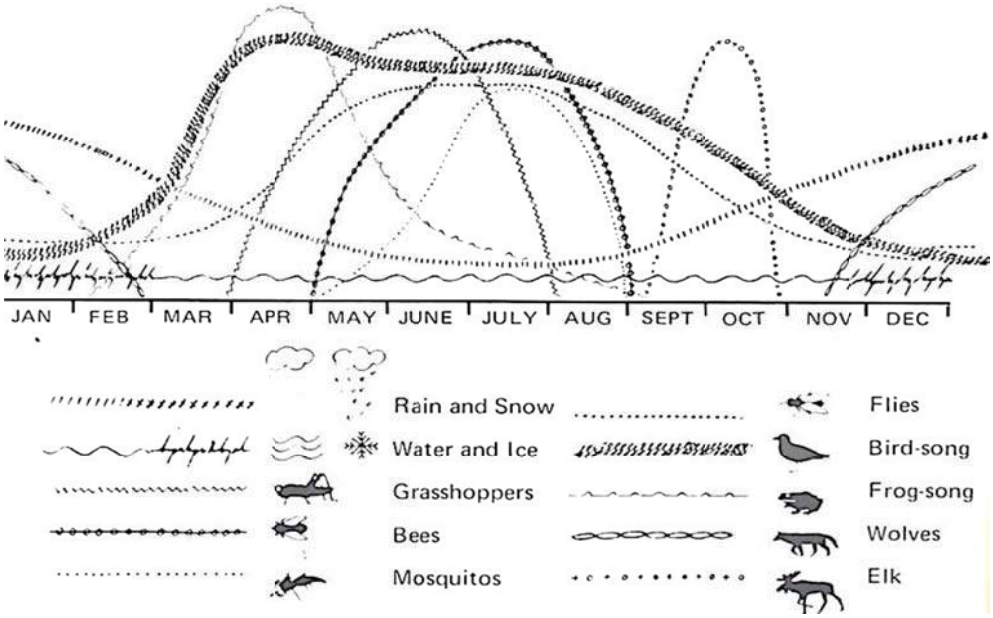
Często można spotkać inne formy wypoczynku w lesie. Ostatnio popularność mają leśne rajdy pojazdami terenowymi, quadami i motocyklami (Rys.4.2). Hałas tych pojazdów płoszy zwierzynę i pozbawia las jego najcenniejszego waloru – ciszy. Maszyny niszą poszycie lasu, niszczą rośliny, rozjeżdżają legowiska ptaków gnieżdżących się na ziemi.

Zwierzęta narażone na hałas pochodzący od pojazdów terenowych często cierpią na zaburzeniami narządów słuchu. Utrata częściowa lub całkowita słuchu może prowadzić do zakłócenia relacji drapieżnik - ofiara (zwiększone narażenia na ataki drapieżników, większe trudności przy polowaniu na ofiarę). Innym niebezpieczeństwem jest upośledzenie wewnątrzgatunkowej komunikacji. Szczególne problemy mogą obejmować niezdolność do rozpoznawania sygnałów ostrzegawczych w stadzie, zdolności porozumiewania się między członkami stada, a w szczególności z młodymi osobnikami [4].

Rys. 4.2. Wizyta quadów w lesie. Fot. toivo [CC BY-SA 2.0], Flickr.com

Na Rysunku 4.3 przedstawiony jest szkic rocznego cyklu naturalnego pejzażu dźwiękowego zjawisk geofonicznych i biofonicznych, rejestrowanego na zachodnim wybrzeżu Kolumbii Brytyjskiej w Kanadzie [30]. Badania przeprowadził Murray Schafer, kanadyjski kompozytor i pedagog muzyczny, jeden z pierwszych badaczy ekologii dźwięku. Wprowadził on pojęcie *„soundscape"* - pejzaży dźwiękowych określające je jako - *landscapes portrayed in sound.* Zdefiniował *„Krajobraz dźwiękowy" jako kompleks elementów przyrodniczych oraz elementów wprowadzonych przez człowieka na naturalnie ograniczonym odcinku ziemi, będące źródłem aktualnie postrzeganych dźwięków, reprezentujących określone cechy estetyczne i odpowiadających za uzupełnianie widoku o określone informacje*[31].

Murray Schafer zachęca nas do uważnego nasłuchiwania otaczającego nas świata. Widoczne na Rysunku 4.3 krzywe określają poziomy dźwięku aktywności akustycznej różnych przedstawicieli fauny na tle odgłosów przyrody nieożywionej (dźwięki związane z deszczem (*rain*), śniegiem (*snow*), wodą (*water*) i lodem (*ice*)). Obraz akustyczny jest ściśle połączony z cyklem biologicznym życia zwierząt co pokrywa się z wieloma obserwacjami. Poziom dźwięku śpiewu ptaków (*bird-song*) zmienia się na przestrzeni roku, przy czym najwyższe poziomy głośności obserwujemy w okresie wiosennym. Dla pszczół (*bees*) największa aktywność to przedział miesięcy od kwietnia do sierpnia, podobnie jak komarów i much (*mosquitos, flies*). Kwiecień – lipiec to okres charakterystycznych dźwięków świerszczy (*grasshopers*). Łosie (*elk*) najbardziej słyszalne są w ich okresie godowym przypadającym na miesiące jesienne - wrzesień i październik. W okresie zimowym uaktywniają się akustycznie wilki (*wolves*).



Rys. 4.3. Pejzaż dźwiękowy zachodniego wybrzeża Kolumbii Brytyjskiej w Kanadzie (wykres Murray Schafer [31])

W przypadku interpretacji oddziaływania hałasu na faunę musimy posiłkować się różnorakimi pośrednimi metodami badawczymi. Tutaj rozważane są głównie zagadnienia behawioralne różnych gatunków zwierząt, zmiany w populacji, zmiany w prokreacji i inne aspekty oddziaływania hałasu. Istotne znaczenie ma czas oddziaływania źródła hałasu. Pracownicy służb leśnych, rolnicy, turyści wytwarzają hałas krótkotrwały – ograniczony w czasie, ale już źródła pochodzenia przemysłowego i komunikacyjnego często mają całodobowe cykle działania.

Głównym problemem działań zmierzających do redukcji hałasu na obszarach leśnych jest ich nierentowność. Budowa ekranów akustycznych w strefach innych niż zabudowy mieszkaniowej jest rzadkością. Lokowanie ekranów poza terenami niezabudowanymi budzi społeczny opór i niechęć. Najczęściej towarzyszą temu zarzuty o niegospodarność, marnotrawstwo pieniędzy i niejasne interesy. Dopóki nie wykaże się zasadności akustycznej ochrony obszarów leśnych, podobne reakcje społeczne można uważać za uzasadnione. Częściowo rolę zabezpieczeń przed hałasem pełnią wały i nasypy przy drogach szybkiego ruchu i autostradach.

Badając zjawiska dźwiękowe występujące na obszarach leśnych musimy mieć na uwadze tło akustyczne otoczenia. Tło akustyczne stanowią wszystkie dźwięki różnego pochodzenia docierające do obserwatora, poza badanym dźwiękiem. Jest ono akustycznym wyróżnikiem miejsca obserwacji, subtelnymi dźwiękami natury. Często jest to również szum drogi szybkiego ruchu, hałas wykonywanych prac polowych czy odgłosy działalności produkcyjnej np. tartaku, pozyskiwania drewna.

Zainspirowani dźwiękami natury przeprowadziliśmy szereg wielogodzinnych rejestracji dźwięków biofonicznych na terenach Puszczy Niepołomickiej i Białowieskiej (Rys. 4.4). Były to odgłosy świtu, rykowiska jeleni, odgłosy lasu w porze dziennej i nocnej. Na ścieżkach nagrań znalazły się również dźwięki pochodzenia antropogenicznego (hałas

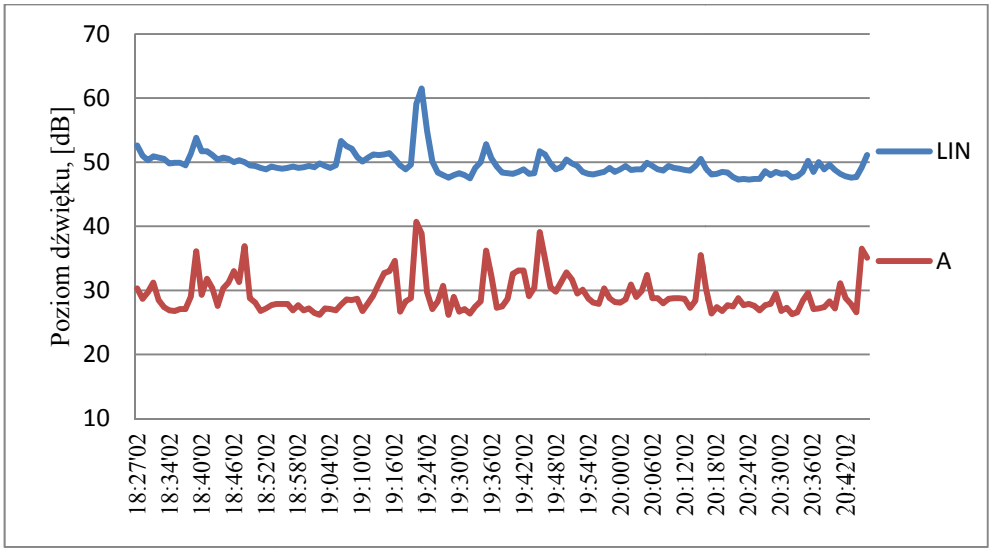
autostrady, przejazdy samochodów, pociągów, rowerów, rozmowy i kroki ludzi, przeloty samolotów itd.).

Wymagania odnośnie standardów akustycznych środowiska określane są dopuszczalnymi poziomami dźwięku A L_{eqAT} w decybelach [24]. Poziom dźwięku A (L_A), to poziom ciśnienia akustycznego skorygowany według charakterystyki częstotliwościowej A, będący obiektywnym pomiarowym przybliżeniem odczuwalnego dla ucha ludzkiego poziomu głośności.

a) b)

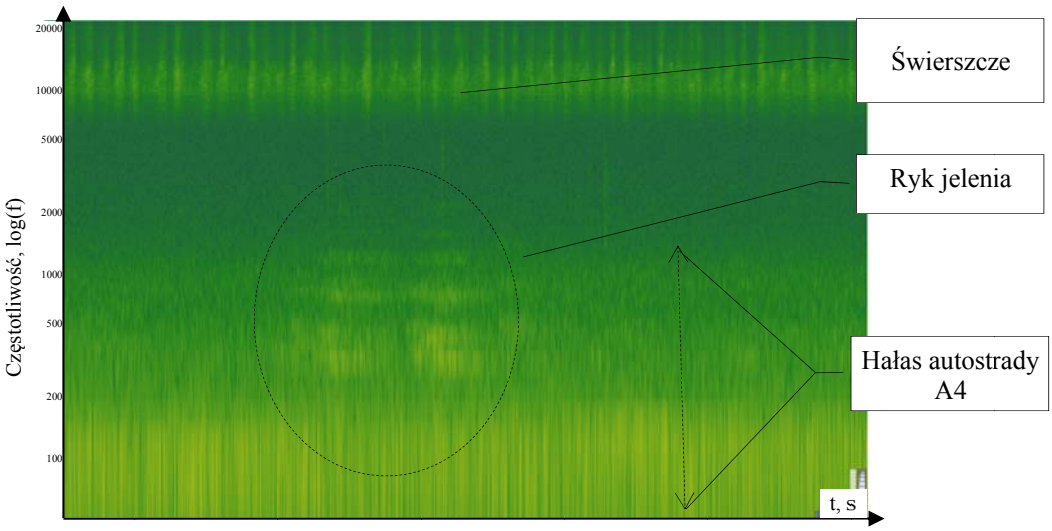
Rys. 4.4. Autostrada A4 w pobliżu Puszczy Niepołomickiej (a) i pomiar hałasu w Puszczy Białowieskiej (b).

Na Rysunku 4.5 pokazany jest wykres ponad dwugodzinnego przebiegu czasowego poziomów dźwięku rejestrowanych wewnątrz Puszczy Niepołomickiej w czasie rykowiska jeleni. W tle dźwięków lasu słyszalny był hałas samochodowy autostrady A4, odległej około 2 kilometrów od punktu obserwacji. Wykres przedstawia kolejne jednominutowe próbki równoważnego poziomu dźwięku L_{eq} zmierzone z filtrem A i nieskorygowanego (LIN). Wykres pokazuje, jak różny może być odczuwalny poziom dźwięku dochodzący do uszu zwierząt, które często mają inną charakterystykę narządu słuchu niż człowiek (niebieska linia – poziom skorygowany charakterystyką A, kolor czerwony – LIN poziom dźwięku bez korekcji). Odstęp między rejestrowanymi poziomami wynosi około 20 dB, jednak różnice w charakterystyce przebiegu obu krzywych pokazują, że w występują tu dźwięki o niższych częstotliwościach.



Rys. 4.5. Przebieg czasowy poziomów dźwięku L_{AeqT} (T = 1min) zarejestrowanych w Puszczy Niepołomickiej w okresie rykowiska jeleni (kolor czerwony L_A; kolor niebieski (L_{LIN}). Tło akustyczne stanowi autostrada A4 przebiegająca w odległości ok.2 km od miejsca obserwacji

Spektrogram dźwięku zarejestrowanego w Puszczy Niepołomickiej podczas wrześniowego wieczoru przedstawia rysunek 4.6. Przebieg czasowy zdarzeń akustycznych przedstawiony jest w logarytmicznej skali częstotliwości.

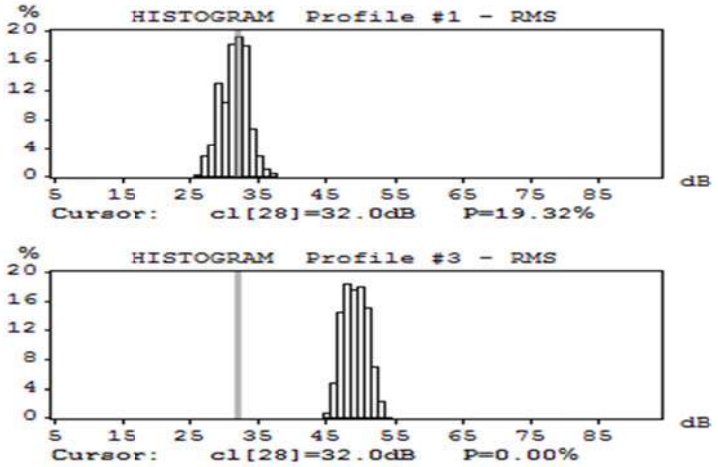


Rys. 4.6. Spektrogram zarejestrowany w Puszczy Niepołomickiej (wrzesień)

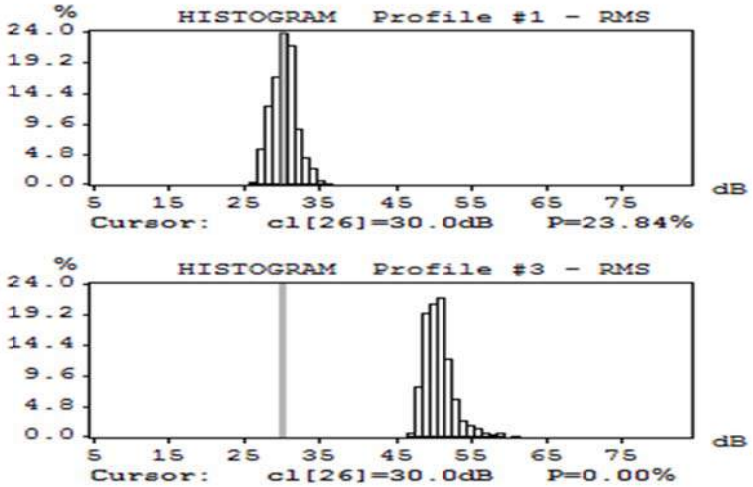
Wyraźnie widoczny jest szum pochodzący od autostrady A4 występujący głównie w zakresie niskich częstotliwości (do częstotliwości około 500 Hz). Tło akustyczne dopełniane jest dźwiękami charakterystyczny lasu. Na spektrogramie widoczne są odgłosy ryku

byka jelenia w czasie rykowiska. Są to dźwięki w przedziale częstotliwości od około 450 Hz do 2000 Hz. W częstotliwościach wyższych występują odgłosy świerszczy.

Histogramy poziomów dźwięku A i LIN wyznaczone w punkcie pomiarowym we wnętrzu puszczy w odległości około 2000 m od autostrady A4 pokazane są na rysunkach (Rys.4.7 i Rys.4.8). Na wykresach widoczne są wyraźne różnice w mierzonych poziomach dźwięku z filtrem korekcyjnym A L_A i poziomami bez korekcji filtrem A - poziomami L_{LIN}. Może to mieć, jak wcześniej wspomniano, istotne znaczenie w odbiorze dźwięków przez różnych przedstawicieli fauny.

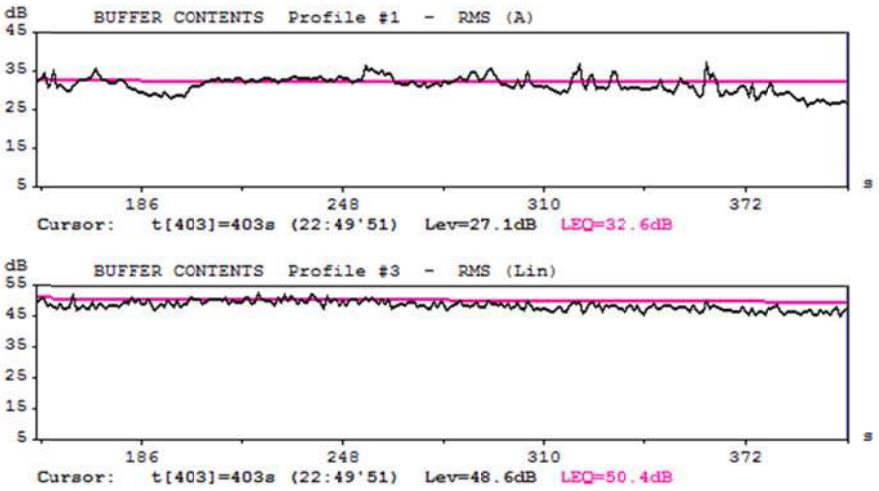


Rys. 4.7. Histogram poziomów dźwięku występującego w Puszczy Niepołomickiej w porze wieczorowej dla dźwięku skorygowanego filtrem A (Profile#1) i bez korekcji filtrem (Profile#3). Pomiary na wysokości 4m nad poziomem gruntu.

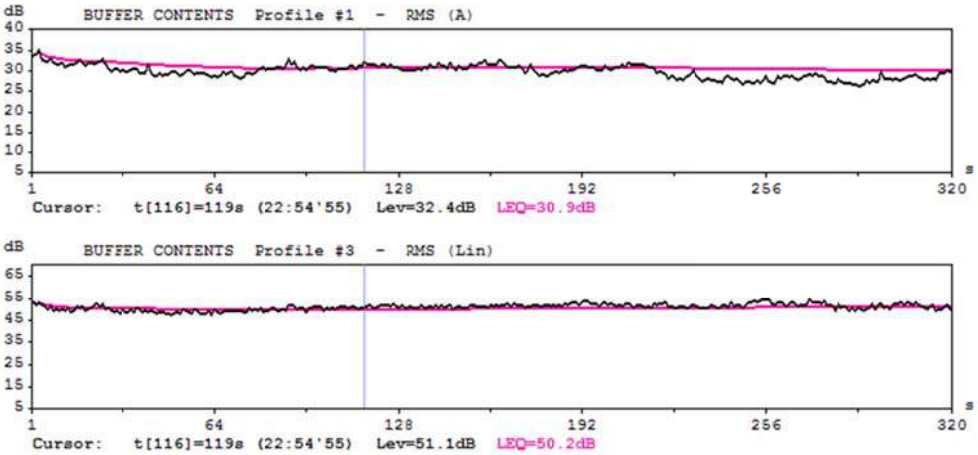


Rys. 4.8. Histogram poziomów dźwięku występującego w Puszczy Niepołomickiej w porze wieczorowej dla dźwięku skorygowanego filtrem A (Profile#1) i bez korekcji filtrem (Profile#3). Pomiary na wysokości 0,5m nad poziomem gruntu.

Podczas bezwietrznej pogody, w porze nocnej występuje przede wszystkim tło akustyczne pochodzące od autostrady A4. Na wykresach (Rys.4.9 i Rys.4.10) przedstawione są przykładowe przebiegi czasowe sygnałów akustycznych rejestrowanych nocą na różnych wysokościach h nad poziomem gruntu: $h = 4{,}0$m i $h = 0{,}5$m. Poziomy dźwięku L_{Aeq} odpowiadające kolejnym odcinkom czasowym w obu punktach pomiarowych pokazują różnice wartości (1,7 dB) w zależności od wysokości położenia punktu pomiarowego. Dla nieskorygowanego poziomu dźwięku L_{Lin} różnice rejestrowanych wartości są pomijalnie małe.



Rys. 4.9. Przebiegi czasowe sygnałów akustycznych zarejestrowane na wysokości 4,0m nad poziomem gruntu w Puszczy Niepołomickiej w odległości ok.2000 m od autostrady. Profile #1 odpowiada skorygowanym poziomom dźwięku A, Profile #3 - liniowym wartościom poziomu dźwięku.



Rys. 4.10. Przebiegi czasowe sygnałów akustycznych zarejestrowane na wysokości 0,5m nad poziomem gruntu w Puszczy Niepołomickiej w odległości ok. 2000 m od autostrady. Profile #1 odpowiada skorygowanym poziomom dźwięku A, Profile #3 - liniowym wartościom poziomu dźwięku.

Badania sygnałów akustycznych wykonywane na różnych wysokościach ponad terenem pozwalają na określenie stopnia narażenia na hałas w zależności od wysokości położenia gniazda (ptaki), sposobu żerowania, czy zwyczajów danego gatunku zwierząt. Także tutaj widoczne są nieznaczne różnice w poziomach dźwięku w zależności od wysokości punktów obserwacji.

4.4. Relacja przyroda - hałas

Przegląd literatury dostarcza wielu informacji na temat badań oddziaływania hałasu antropogenicznego na świat zwierząt. Działalność człowieka wprowadza do środowiska wiele czynników zagrożeń, w tym również akustycznych. Intensywny rozwój inwestycji komunikacyjnych (rozbudowa infrastruktury dróg, lotnisk, kolei) wywiera dużą presję na środowisko przyrodnicze, szczególnie w bezpośrednim sąsiedztwie nowych inwestycji. Ma to wpływ na funkcje życiowe w świecie ptaków, ssaków, gadów, płazów jak i innych stworzeń, w których naturalne środowisko wkroczył człowiek. Zmiany te są na tyle istotne, że wymogły podjęcie prac badawczych, pozwalające rozpoznać tego typu zjawiska, w stopniu co najmniej równym, jaki dotąd uczyniono dla środowiska człowieka.

Jaki poziom hałasu uważany jest za uciążliwy czy szkodliwy? Znamy odpowiedź na to pytanie wtedy, gdy dotyczy ono siedlisk człowieka. Opracowane są wartości wielkości dopuszczalnych hałasu (definiowane przez poziomy dźwięku mierzone z filtrem korekcyjnym A). Wartości dopuszczalne hałasu podaje w odpowiednim rozporządzeniu minister środowiska w zależności od kategorii akustycznej terenu oraz źródeł pochodzenia hałasu (przemysłowy, komunikacyjny, lotniczy, linii energetycznych i inne) (Tabela 3.1 i Tabela 3.2) [26].

W przypadku zwierząt nie znamy odpowiedzi, jakie są wartości progowe akceptacji hałasu w danym ekosystemie, jakie parametry mierzonych sygnałów wskazują na jego uciążliwość lub szkodliwość. Szlaki komunikacyjne (drogi, koleje), korytarze lotnicze, przeloty helikopterów, prace gospodarcze w lasach, tartaki itd., to wszystko są źródła dźwięku o dużych mocach akustycznych. Zanieczyszczenie hałasem zmienia środowisko egzystencji zwierząt – czy potrafimy odpowiednio ocenić profil tych zmian i ich skutki w przyszłości?

Hałas przejawia swoje niszczące działanie w degradacji jakości środowiska przyrodniczego, którego konsekwencją jest utrata jednego z jego najważniejszych czynników – utrata ciszy. Pod wpływem działania hałasu zmniejszają się wartości funkcjonalne terenów rekreacyjnych i tych o przeznaczeniu leczniczym i sanatoryjnym.

Reakcje zwierząt na hałas są funkcją wielu zmiennych, między innymi charakter dźwięku i czasu jego trwania, historycznych uwarunkowań egzystencji gatunku, siedliska, aktywności bieżącej i w sezonie godowym, płci i wieku, wcześniejsze ekspozycje na hałas oraz występowania innych stresorów fizycznych (np. susza). Na ile znaczące jest to oddziaływanie, decyduje wrażliwość siedlisk i gatunków na działanie czynników zewnętrznych, a także – cechy przedsięwzięcia i parametry jego oddziaływań – rozmiar, czas trwania, natężenie, częstotliwość, odwracalność, efekt kumulacji z oddziaływaniami innych przedsięwzięć. Jakość środowiska naturalnego jest ściśle związana *ze* zdolnością do egzystencji, uwarunkowaną takimi czynnikami jak:

- jakość powietrza,
- jakość wody,

- użytkowanie gruntów
- zanieczyszczenia hałasem.

Jednak nie można zapominać lub pomijać faktu, że człowiek nie jest jedynym żywym organizmem w naszym ekosystemie. Jeśli hałas otoczenia generowany przez procesy urbanizacyjne, szlaki transportowe, maszyny i inne źródła pochodzenia antropogenicznego jest na tyle istotny, aby stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzkiego, jakie skutki może mieć dla lokalnej przyrody?

Autorzy pracy [23] dokonali przeglądu literatury dotyczącej opisu badań doświadczalnych na temat wpływu ruchu drogowego na populacje i rozkład siedlisk zwierząt. Odnotowali 79 wyników badań, z wynikami obserwacji dla 131 gatunków i 30 grup gatunków. Liczba udokumentowanych negatywnych skutków oddziaływania dróg na populacje zwierząt przewyższyła liczbę pozytywnych efektów pięciokrotnie; 114 odpowiedzi było negatywnych, 22 były pozytywne i 56 nie wskazywały żadnego efektu. W przypadków ptaków badania pokazały głównie negatywne skutki lub ich brak, z kilkoma pozytywnymi przypadkami dla niektórych małych ptaków i dla sępów.

4.5. Oddziaływania skumulowane

Większość naukowców zgadza się, że hałas może mieć wpływ na fizjologię i zachowanie zwierzęcia, a kiedy przekształca się w chroniczny stres, *to* może on być szkodliwy dla bilansu energetycznego zwierzęcia, jego sukcesu reprodukcyjnego, a w konsekwencji przetrwania gatunku w dłuższej perspektywie. W pracy [23] pokazano trzy behawioralne reakcje zwierząt związane z obecnością drogi i ruchem pojazdów:

- unikanie powierzchni drogi,
- unikanie czynników szkodliwych wynikających z ruchu samochodów (hałas, *światło,* emisji chemicznych),
- zdolność zwierzęcia do ucieczki z drogi nadjeżdżającego pojazdu.

Oddziaływanie hałasu wzmaga się w przypadku nałożenia jego działania na inne stresory środowiskowe, takie jak np. zanieczyszczenie powietrza czy zanieczyszczenia chemiczne gleby. Dotyczy to zwłaszcza obszarów miejskich, gdzie współwystępuje większość z tych stresorów.

W Dyrektywie siedliskowej wprowadzony został wymóg, aby ocena oddziaływania przedsięwzięcia na sieć Natura 2000 została przeprowadzona nie tylko z uwzględnieniem potencjalnych jego skutków [9, 33]. Należy wziąć pod uwagę negatywne skutki mogące wynikać ze wspólnego oddziaływania z innymi planami lub przedsięwzięciami, których ocena bezpośrednio nie dotyczy. Dlatego też w momencie przeprowadzania oceny należy uwzględnić także możliwe oddziaływania skumulowane. Oddziaływania skumulowane to wynik połączonego działania skutków analizowanego przedsięwzięcia oraz skutków spowodowanych przez inne działania, które występują obecnie, dokonały się w przeszłości lub dają się logicznie przewidzieć w przyszłości. Ocena oddziaływania skumulowanego jest zazwyczaj jednym z najbardziej problematycznych zadań w opiniowaniu oddziaływania na środowisko, również w ocenie wpływu na obszar Natura 2000. Analiza „działań dających się logicznie przewidzieć w przyszłości" często spotyka się z problemem braku danych odnośnie charakteru, skali i lokalizacji przyszłych przedsięwzięć. Jeśli chodzi o przedsięwzięcia zrealizowane, często trudno jest uzyskać wiedzę ich temat lub też uzyskane informacje nie obejmują odpowiedniej analizy oddziaływań przewidywanych dla

tego przedsięwzięcia. Z tego powodu nierzadko przewidywane oddziaływania (a zatem także ich ocena) są nieprecyzyjne.

W ocenie ważkości oddziaływań duże znaczenie mają uwarunkowania środowiskowe. Należą do nich:

- status poszczególnych gatunków i siedlisk,
- znaczenie obszaru dla ich ochrony,
- ich wrażliwość na zmiany.

W przypadku rzadkich siedlisk gatunków lub siedlisk przyrodniczych, które mogą być ginące lub wrażliwe na zmiany, utrata nawet jednego procenta powierzchni może być uznana za znaczącą. Również okres prowadzenia prac związanych z emitowaniem nadmiernego hałasu może mieć różny wpływ. Może być oddziaływaniem znaczącym, w sezonie lęgowym ptaków, natomiast prowadzone po okresie lęgowym - nie. Budowa wąskiej lokalnej drogi prowadzonej przez wrażliwe obszary bagienne może być większym zagrożeniem dla występujących tam roślin i zwierząt o specyficznych wymaganiach wilgotnościowych, niż np. autostrady na obszarach charakteryzujących się dużą odpornością na tego typu zmiany [1].

Hałas dróg szybkiego ruchu nie jest jedynym czynnikiem wpływającym na sposób zachowania się ptactwa i innych zwierząt. Do oddziaływań połączonych z hałasem należy zaliczyć również efekty świetlne (np. błyski świateł samochodów), zanieczyszczenie powietrza, skażenie wód opadowych i gleby na poboczach dróg. Zwiększa się również obecność ludzi w sąsiedztwie dróg. Stres wywołany tymi przyczynami może przejawiać się w różnym zachowaniu zwierząt. W pracy [35] wykazano, że błyski świateł mogą zaburzać inkubację jaj w gniazdach ptaków lub zdolność do znajdowania pokarmu. Związki chemiczne emitowane do powietrza, wód i gleby mogą kumulować się w organizmach zwierząt mając pośredni wpływ na ich kondycję i witalność. Mimo wszystko badania doświadczalne pokazują, że hałas jest tym czynnikiem, który obniża zagęszczenia lęgowe przy drogach o dużym natężeniu ruchu.

Często niedocenianym oddziaływaniem jest barierowy efekt przedsięwzięcia. W przypadku dużych inwestycji liniowych (np. linie kolejowe, drogi szybkiego ruchu, autostrady) przecinających korytarze migracyjne dużych drapieżników, mogą one wywierać wpływ na wiele obszarów, oddalonych nawet o kilkadziesiąt czy kilkaset kilometrów.

Przecięcie szlakami komunikacyjnymi obszarów zajmowanych przez populacje zwierząt nie wynika wyłącznie z samego zniszczenia siedlisk w fazie budowy. Znacznie poważniejsze oddziaływanie może wynikać z efektu odstraszającego, będącego wynikiem hałasu i samego ruchu pojazdów, oddziałującego nawet w odległości kilku kilometrów od drogi. Należy pamiętać, że nawet mała lokalna droga, odcinająca miejsca zimowania populacji chronionych płazów od ich miejsca rozrodu może być źródłem znaczących zaburzeń oddziaływań. A niegroźne, z pozoru, wycięcie krzaków lub drzew na trasie przelotu nietoperzy powoduje efekt barierowy.

4.6. Dźwięki w królestwie ptaków

Początkowo w Holandii, a później w Stanach Zjednoczonych, były prowadzone serie wieloletnich badań nad zależnościami wynikającymi z oddziaływania hałasu drogowego na siedliska ptaków. Badania takie prowadzone są wielokierunkowo. Ornitolodzy prowadzą bezpośrednie obserwacje, nasłuch, liczenie zagęszczenia ptaków, w tym transektowe bada-

nia ornitologiczne itd. Akustycy rejestrują głosy pojedynczych okazów lub stad, mierzą parametry hałasu pochodzącego z różnych źródeł, prowadzą analizy porównawcze sygnałów, określają zasięg hałasu na obszarach przyległych do szlaków komunikacyjnych czy do hałaśliwych obiektów. Obserwacje potwierdzają, że w znacznej mierze hałas drogowy ma negatywne oddziaływanie na populacje ptaków w przypadku wielu gatunków. Hałas zakłóca komunikację dźwiękową ptaków. Szczególnie dotyczy to okresów formowania ptasich par i wylęgu piskląt. Śpiew ptaków to może być zarówno wabienie partnera jak również obwieszczenie o granicach własnego terytorium.

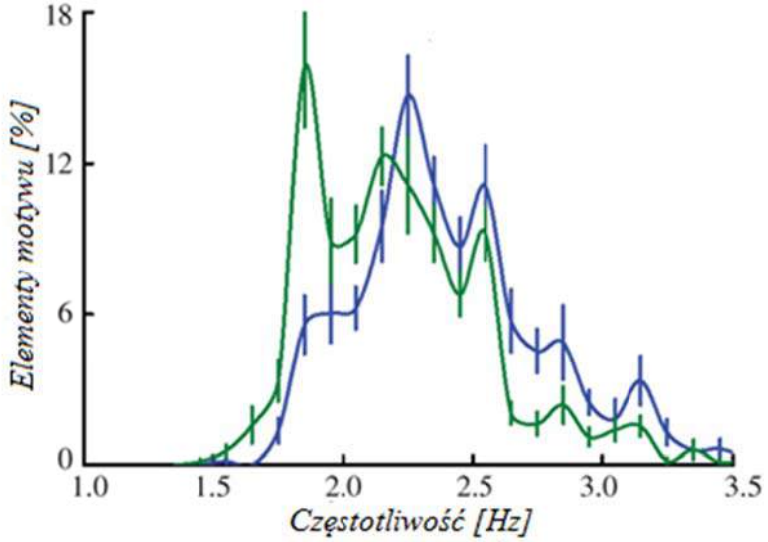
Maskowanie dźwięków natury, występuje szczególnie w zakresie niskich częstotliwości, charakterystyczne dla hałasu drogowego. W pracy [35] na podstawie eksperymentu określono zasięg oddziaływania hałasu w lesie (bór sosnowy) na różne gatunki ptaków do odległości około 300 m od krawędzi jezdni. Wykazano, że najbardziej wrażliwą grupą ptaków na tego typu oddziaływanie były gatunki gniazdujące nisko w strefie przygruntowej oraz ptaki komunikujące się w niskich częstotliwościach. Potwierdzono również obserwacje występowania gatunków ptaków, które mimo wszystko wybierają sąsiedztwo drogi (muchołówka żałobna, modraszka, bogatka i inne). Czynnikami wabiącymi ptaki w pobliże dróg jest tzw. „efekt krawędzi lasu", umożliwiający łatwiejsze zdobycie pokarmu [35].

Sąsiedztwo dróg jest przyczyną częstszej penetracji znajdujących się tutaj siedlisk ptaków przez drapieżniki, w porównaniu z siedliskami znajdującymi się w głębi lasu.

Zjawisko to może być powiązane z tzw. "symptomem odległości" (co oznacza, że liczba ptaków gniazdujących bliżej drogi zmniejsza się) i występować w odległościach od dwóch do trzech tysięcy metrów od drogi. W raportach z badań terenowych objawy „symptomu odległości" zwiększają się z intensywnością ruchu na drogach i są najbardziej znaczące w pobliżu dużych, wielopasmowych autostrad o dużym zagęszczeniu ruchu pojazdów. Efekt ten jest podobny zarówno dla gatunków ptaków łąkowych jak i leśnych. Jednak nie dla wszystkich gatunków obserwuje się takie zachowanie, niektóre gatunki przejawiają wręcz odwrotną reakcję rozmnażając się intensywniej w pobliżu dróg. Według badań prowadzonych w 2010r. [10] (dotyczących 234 gatunków ssaków i ptaków) populacja całkowicie wygasa w zasięgu 1 km od drogi w przypadku ptaków i do odległości 5 km dla ssaków.

Mankamentem opisanych badań określających wpływ ruchu drogowego na gęstość stanowisk lęgowych ptactwa i wnioskowania o negatywnym jego oddziaływaniu, jest brak uwzględnienia innych czynników takich jak zanieczyszczenie spalinami, kolizje z samochodami itd.

Innym ciekawym zjawiskiem jest zmiana częstotliwości śpiewu ptaków wynikająca z hałaśliwego środowiska miejskiego. Tak zachowuje się na przykład bogatka zwyczajna, która wykazuje wzrost częstotliwości „śpiewu" w hałaśliwym otoczeniu. Podobnie, przeprowadzone w Wiedniu badania pokazały, że widma zarejestrowanych motywów śpiewu kosów z Wiednia i Lasu Wiedeńskiego różnią się. Ptaki „leśne" i „miejskie" wykazują wyraźną różnicę w używaniu różnych częstotliwości podczas śpiewu. Ptaki „leśne" wykorzystują głównie częstotliwości 1,8 do 1,9 kHz (około 16% motywów - charakterystycznych fragmentów melodii), a ptaki „miejskie" śpiewały największą liczbę motywów w częstotliwościach 2,2 do 2,3 kHz. Rysunek 4.11 przedstawia przesunięcia w skali częstotliwości uśrednionych widm motywów (śpiewu kosów. Krzywe pokazują uśrednione wartości procentowe z rozdzielczością 100 Hz, a pionowe odcinki na wykresach oznaczają odchylenia standardowe szczytowych wartości częstotliwości. Analizowane były głosy 16 kosów z Wiednia (kolor niebieski) oraz 17 kosów z Lasku Wiedeńskiego (kolor zielony) [17].



Rys. 4.11. Przesunięcie w skali częstotliwości widm sygnałów motywów pieśni kosów (kolor zielony – kosy Lasu Wiedeńskiego, kolor niebieski – kosy miasta Wiednia) [17].

Jeśli przyczyną tego typu zachowań jest hałas, *to* można się spodziewać, że działania pozwalające na jego redukcję, mogą generować pożądaną odpowiedź niektórych gatunków ptaków (tzn. tworzyć siedliska bardziej atrakcyjne dla gatunków, które wcześniej unikały pewnych obszarów).

4.7. Dźwięki w życiu ssaków

Destrukcyjne działanie hałasu przejawia się przez wpływ na jakość środowiska przyrodniczego, czego konsekwencją jest utrata tak ważnego jego czynnika, jakim jest cisza. Wszelkie niepożądane dźwięki, pojawiające się w jakiejś biocenozie, wywołują odmienne zachowania zasiedlających ją zwierząt, np. stany lękowe, zmianę siedliska, obniżenie rozrodczości czy spadek laktacji. Człowiek rejestruje i przetwarza fale dźwiękowe organem słuchu. Nasze uszy są najbardziej wrażliwe na dźwięki emitowane w przedziale częstotliwości od 2 kHz do 5 kHz, gdyż odpowiada to częstości drgań strun głosowych.

Jak proces słyszenia przebiega u zwierząt? Psy, w zależności od rasy, słyszą dźwięki o częstotliwościach do 40 kHz, co jest uzasadnione genetycznie. Predyspozycje te wykorzystywane są w tresurze z użyciem gwizdków ultradźwiękowych. Ssaki z rodziny psowatych takie jak lis czy wilk (niektóre źródła podają, że słyszy dźwięki o częstotliwościach do 80 kHz) od zawsze polowały na małe zwierzęta, które emitują wysokie dźwięki.

Przykładem przystosowania się do życia w hałasie jest historia kilku rodzin lisich, które znalazły swoje miejsce żerowania w okolicach linii kolejowej w Warszawie. Ludzie z pociągów wyrzucają resztki jedzenia, co powoduje zwiększenie populacji gryzoni w sąsiedztwie torów. A to przyciągnęło lisy, które w skarpach nasypów kolejowych wykopały nory. Według opinii leśników znacznie zwiększyła się populacja lisów w polskich lasach,

a lisy coraz bardziej adaptują się do życia w sąsiedztwie człowieka, akceptując hałas pochodzenia kolejowego czy zabudowy gospodarczej.

Stojące uszy wilka czy lisa posiadają wiele mięśni, dzięki którym mogą nimi z łatwością poruszać, kierując je w stronę źródła dźwięku. Wilki lokalizują w ten sposób np. gryzonie pod warstwą śniegu. Wilki posiadają znakomity słuch, słyszą dźwięki dochodzące z odległości 10 kilometrów. Wyciem zaznaczają zasięg swojego terytorium łowieckiego. Wycie pełni również funkcję komunikacji między członkami stada, pozwala na ustalenie miejsca przebywania członków rodziny, wykorzystywane jest do zaalarmowania o niebezpieczeństwie bądź o udanych łowach. Wyjąc wilk emituje dźwięki harmoniczne, co skutkuje dużym zasięgiem rozchodzenia się głosu i złudzeniem akustycznym, że wataha jest liczniejsza niż w rzeczywistości.

W ciszy lasu szczególnie głośno zachowują się jelenie w okresie godowym (Rys.4.12). W chłodne, pogodne noce września przez około trzy tygodnie w lasach wyraźnie słyszalne są postękiwania i donośny, basowy ryk byków poszukujących łani do celów prokreacyjnych lub wyzywających rywali do stoczenia walki.

Rys. 4.12. Jeleń – byk w Rezerwacie pokazowym Żubrów w Puszczy Białowieskiej

Sarny słyszą w podobnym zakresie częstotliwości jak człowiek. Dźwięki o niskich częstotliwościach słyszą podobnie jak ludzie, natomiast dźwięki o wyższych częstotliwościach lepiej. Szczególnie dobrze słyszą dźwięki znajdujące się w zakresie od 3 kHz – 8 kHz. Uszy tych zwierząt unoszą się, skręcają, a nawet mogą się poruszać niezależnie od siebie, dzięki czemu wychwytują dźwięk ze wszystkich kierunków. Często, gdy sarny przemieszczają się w stadzie, nasłuchują siebie nawzajem, aby wiedzieć w którym miejscu znajduje się inny osobnik. Porównując sygnały, słyszane obu uszami, sarna może dokładnie namierzyć źródło dźwięku.

Zwierzę żyje w środowisku, gdzie naturalnymi dźwiękami są: szum drzew, odgłosy innych zwierząt czy trzask łamanych gałęzi, natomiast dziwnym i nienaturalnym dźwię-

kiem są dla niej kroki człowieka. Dlatego też, szybko może zorientować się, że nadchodzi niebezpieczeństwo. Dźwięk sztucznie wprowadzany w środowisko życia zwierząt wymusza zmianę ich zachowania.

Dziki mają doskonale wykształcony zmysł węchu, co pozwala zwietrzyć człowieka nawet na dużą odległość (do 500 m). Ale posiadają również bardzo dobry słuch, który ostrzega ich przed niepokojącym hałasem dochodzącym z dużych odległości. Podobnie jak lisy dziki nauczyły się żyć w sąsiedztwie ludzi, zbliżając się do hałaśliwych terenów urbanistycznych w poszukiwaniu łatwych zdobyczy pokarmu. Bobry odbierają zarówno dźwięki jak i wibracje pod wodą, a wydrę słuch wcześniej ostrzega przed niebezpieczeństwem niż zmysł węchu.

Ssakami wykorzystującymi dźwięki do echolokacji są nietoperze. Wysyłają impulsy akustyczne o częstotliwościach w przedziale 40 - 80 kHz, których odbicia dają informację o rodzaju i ruchu obiektów w otoczeniu. Długości emitowanej fali akustycznej dla tych częstotliwości to 4 – 8 mm. Odpowiada to wielkościom owadów, które stanowią pożywienie nietoperzy [24].

Zwierzęta, nie tylko żyjące w lasach, najczęściej wykorzystują emisję dźwięków dla potrzeb życiowych: komunikacja, wabienie partnerów, sygnały alarmowe i inne. Człowiek też nauczył wykorzystywać odgłosy zwierząt do wabienia zwierzyny(myśliwi, ornitolodzy), do poznania liczebności stad, do odstraszania.

Na naturalne dźwięki lasu nakłada się hałas pochodzenia antropogenicznego, przede wszystkim komunikacyjny. Analizując zagrożenia wynikające z dróg wiodących przez obszary leśne, przeprowadzono eksperyment [10] związany z oddziaływaniem ruchu drogowego na populacje różnych ssaków. Wyniki badań pokazały, że małe ssaki zwykle przejawiały zarówno pozytywne reakcje lub brak widocznych skutków oddziaływania, średniej wielkości ssaki okazywały ujemne skutki lub brak symptomów oddziaływania, a duże ssaki wykazywały głównie negatywne skutki wpływu hałasu. Zsyntetyzowano te informacje wraz z informacjami na temat cech gatunku, tak aby opracować zestaw prognoz warunków środowiskowych, które prowadzą do negatywnych lub pozytywnych skutków ekspozycji na hałas lub pomijalnego wpływu dróg na populacje zwierząt.

Wyszczególniono kategorie negatywnych reakcji zwierząt (np. gatunki, które przyciąga sąsiedztwo drogi i nie są w stanie uniknąć pojedynczych kolizji z samochodami) oraz kategorie pozytywnych odpowiedzi na sąsiedztwo dróg (np. gatunki, które przyciąga sąsiedztwo dróg z istotnych powodów (na przykład żywność) i są w stanie unikać nadjeżdżające samochody.

Pozostałe relacje prowadzą do słabych lub nieistniejących zależności między ruchem samochodowym a liczebnością zwierząt. Powstanie w obszarze lasu lub terenach przyległych nowej zabudowy i obiektów jej towarzyszących (dróg i placów utwardzonych, obiektów kubaturowych, odwodnienia terenu, ogrodzeń, zieleni urządzonej, itp.) powoduje trwałe przekształcenie terenu co skutkuje powstaniem nowych siedlisk zwierząt.

Zaobserwowano, że kilka gatunków żab, ptaków i wiewiórek zmodulowało wydawane przez siebie odgłosy. Miało to na celu zminimalizowania efektu maskowania emitowanego przez nie sygnału akustycznego. Sąsiedztwo drogi może pośrednio powodować wzrost populacji mniejszych zwierząt, jeżeli zwierzęta te są pokarmem dla większych zwierząt, których populacje są zmniejszone przy drodze. Mniejsza ilość drapieżników wpływ pozytywnie na liczebność małych ssaków w pobliżu dróg [10].

Istnieje wiele innych badań dotyczących np. zaniku liczebności gatunków o niskoczęstotliwościowych odgłosach w pobliżu źródeł hałasu generowanego przez człowieka.

4.8. Inne zwierzęta

Niewiele wiadomo na temat wpływu hałasu pochodzenia drogowego na bezkręgowce. Niektóre badania wykazały, że niektóre gatunki bezkręgowców są szczególnie wrażliwe na niskie częstotliwości drgań. Słysząc dźwięki o częstotliwościach między 300 Hz a 1000 Hz o wysokim poziomie (około 107-120 dB) pszczoły miodne zatrzymują się na około dwadzieścia minut. Autorzy książki (M.Frings i H.Frings „Sound production and sound reception by insects") opisali szereg reakcji owadów na dźwięki m.in. muchy z rzędu Diptera wykazywały odruch obronny przy dźwiękach o częstotliwościach 80-800 Hz (przy poziomie 80 dB) oraz 120-250 Hz (od 3 - 18 dB powyżej poziomu tła otoczenia).

Były prowadzone badania reakcji przedstawicieli gadów i płazów na hałas. Najczęściej trudno jest wskazać jakieś korelacje między zachowaniem różnych gatunków zwierząt a wpływem hałasu. Wiele skutków (np. mniejsza liczba siedlisk lęgowych i zimowania, większa śmiertelność) spowodowanych sąsiedztwem drogi, wynikało z kolizji między zwierzętami a pojazdami. W tym przypadku droga występuje jako fizyczna bariera na drodze zwierząt, a nie jako generator szkodliwego hałasu.

Można przytoczyć przykłady poważnych zmian w zachowaniu zwierząt poddanych działaniu hałasu o dużych poziomach. Interesujące badania reakcji ropuchy grzebiuszki (Scaphiopus couchi) spowodowane hałasem motocykla (dominujący zakres częstotliwości 400 Hz do 4,4 kHz i poziom dźwięku A L_A= 95 dB) przedstawili Brattstrom B.H. i Bondello M.C. [4]. Płaz ten przechodzi w estywację, pozostając w norze, co może mieć bardzo niekorzystne następstwa, szczególnie w okresie godowym. Autorzy pokazali, że hałas pojazdów terenowych ma negatywny wpływ na organ słuchu trójpalczastej jaszczurki (Uma scoparia).

Pozostaje do ustalenia zależność, czy hałas komunikacyjny ma znaczący wpływ dla danej populacji lub wspólnoty gadów i płazów. Fakt, że zachowanie danego gatunku płazów lub gadów może być destabilizowane hałasem drogowym sprawia, że ten obszar wiedzy wymaga wielu dalszych badań.

Oprócz nadmiernej emisji hałasu, drogi wpływają zarówno na biotyczne i abiotyczne komponenty krajobrazów zmieniając dynamikę populacji roślin i zwierząt, zmiany przepływów materiałów w krajobrazie, wprowadzenie egzotycznych elementów, zmiany poziomu dostępnych czynników, takich jak woda, światło i składniki odżywcze.

4.9. Podsumowanie

Hałas postrzegany jest jako jeden z poważnych problemów środowiskowych. Oddziałuje na ludzi zarówno w sferze fizjologicznej, jak i psychologicznej, zakłócając podstawowe czynności takie jak sen, odpoczynek, naukę czy porozumiewanie się. Przez wiele lat badano skutki zdrowotne narażenia na hałas. Ostatnie badania dowodzą, że są one odczuwalne przy niższym natężeniu hałasu niż pierwotnie sądzono [14].

Trudno jest opisać wpływ hałasu na stan fizjologiczny i psychiczny fauny mieszkańców lasu. Słuch to obok wzroku jeden z najważniejszych zmysłów zwierząt. Pozwala zlokalizować i upolować ofiarę lub odpowiednio wcześnie ostrzega przed niebezpieczeństwem, może być sygnałem dla potomstwa o dostarczeniu pokarmu. Dźwięki pozwalają zlokalizować partnera do reprodukcji na podstawie jego głosów godowych oraz służą do porozumiewania się w stadzie (przywoływanie, ostrzeganie itp.). Zatem dyskusji po-

winny podlegać również rozwiązania prawne określające standardy wartości dopuszczalnych poziomów hałasu na terenach o szczególnych wartościach przyrodniczych. Klimat akustyczny obszarów Natura 2000 musi być przedmiotem długofalowych projektów ochrony tych obszarów przed hałasem. Ekosystem, dynamiczny układ ekologiczny, tworzy każdy kompleks leśny, a pojęcie to zawiera nie tylko zespół organizmów, ale także cały zespół czynników fizycznych będącymi czynnikami środowiska, w tym również dźwięk. Ekosystemy leśne potrzebują wsparcia również ze strony akustyków.

Hałas bez wątpienia wpływa na środowisko egzystencji zwierząt. Zakres długookresowych następstw tego zjawiska, np. zmian szlaków migracji zwierząt z preferowanych przez nie terytoriów żerowiskowych i lęgowych, procesy reprodukcji, zmiany behawioralne wymaga prowadzenia wieloletnich obserwacji i procesów badawczych połączonych z rejestracją akustyczną.

Ekologia akustyczna to również relacja między człowiekiem i jego otoczeniem wyrażana dźwiękiem. Sterujmy naszym życiem tak, by harmonia dźwięków między światem człowieka i otaczająca natury współbrzmiała.

Literatura

[1] Benítez-Lópeza A., Alkemade R., Verweij P.A., *The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis*; Biological Conservation 143 (2010) 1307–1316

[2] Bernat S., *Czy chronić krajobrazy dźwiękowe?*, http://www.krajobraz2007.republika.pl/aura.htm [dostęp 27.10.2014]

[3] Bernat s., *Awareness of Noise Hazards and the Value of Soundscapes in Polish National Parks,* Archives of Acoustics, Vol 38, No 4, 2013

[4] Bondello, M. C. and B. H Brattstrom. *The Experimental Effects of Off-Road Vehicle Sounds on Three Species of Desert Vertebrates. Fullerton*, CA, Department of Biological Sciences, California State University 1979.

[5] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku (Dyrektywa Hałasowa) (Załącznik 5),

[6] Dyrektywa Rady 79/409/EWG z dnia 2 kwietnia 1979 r. w sprawie ochrony dzikich ptaków (tzw. dyrektywa ptasia)

[7] Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory (tzw. dyrektywa siedliskowa).

[8] Dworak K., Domańska H., Paciej J., *Hałas środowiskowy a zdrowie, Środowisko a zdrowie*, e-biuletyn Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, 9, 2005.

[9] Engel J., *Natura 2000 w ocenach oddziaływania przedsięwzięć na środowisko*, Ministerstwo Środowiska 2009.

[10] Fahrig, L., Rytwinski T. *Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis.* Ecology and Society **14**(1): 21

[11] Kolberg O., *Lud. Jego zwyczaje, sposób życia, mowa, podania, przysłowia, obrzędy, gusła, zabawy, pieśni, muzyka i tańce.* Drukarnia Jana Jaworskiego 1867r.

[12] http://ec.europa.eu/environment/noise/home.htm*[dostęp 24.09.2014]*

[13] http://pl.wikipedia.org/wiki/Las *[dostęp 30.10.2014]*

[14] http://www.eea.europa.eu/pl/themes/noise/about-noise [*dostęp 24.10.2014]*

[15] http://www.gios.gov.pl/halas/index.htm *[dostęp 24.09.2014]*
[16] https://www.ted.com/talks/bernie_krause_the_voice_of_the_natural_world/transcript?language=pl *[dostęp 29.09.2014]*
[17] Nemeth E., Pieretti N., Zollinger S.A. i inni, *Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences.;280(1754): 2013.
[18] Norma PN ISO 9613-2:2002 „Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania",
[19] Norma PN-ISO 1996-1:1999 „Akustyka. Opis i pomiary hałasu środowiskowego. Podstawowe wielkości i procedury",
[20] Norma PN-ISO 1996-2:1999 „Akustyka. Opis i pomiary hałasu środowiskowego. Zbieranie danych dotyczących sposobu zagospodarowania terenu",
[21] Norma PN-ISO 1996-3:1999 „Akustyka. Opis i pomiary hałasu środowiskowego. Wytyczne dotyczące dopuszczalnych poziomów hałasu",
[22] Polityka Ekologiczna Państwa w latach 2009-2020 z perspektywą do roku 2016, 2008, Min. Ochrony Środowiska, Warszawa.
[23] Reijnen R, Foppen R., *The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads*. J Appl. Ecol. 32:str.187–202), 1995.
[24] Rossing T (editor), *Springer Handbook of Acoustics*, Springer Science+Business Media, New York, 2007.
[25] Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 15 października 2013 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. 2014 poz. 112).
[26] Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 roku w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz. U. Nr 140, poz. 824),
[27] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 01 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (poz. 1109),
[28] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2007 r. w sprawie szczegółowego zakresu danych ujętych na mapach akustycznych oraz ich układu i sposobu prezentacji. (Dz. U. Nr 187, poz. 1340.),
[29] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2010 r. w sprawie sposobu ustalania wartości wskaźnika L_{DWN} (dz. U. Nr 125, poz. 1414),
[30] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2004 r. w sprawie obszarów specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 (Dz.U. nr 229, poz. 2313 ze zm.)
[31] Rytwinski, T., and L. Fahrig. 2007. *Effect of road density on abundance of white-footed mice. Landscape Ecology* 22:1501–1512.
[32] Schafer R.M. *The Soundscape. Our Sonic Environment and the Tuning of the World, Inner Traditions/Bear & Company*, 1999
[33] The Green Paper on Future Noise Policy', issued in 1996
[34] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz.U. 2004 Nr 92 poz. 880) (Załącznik 2),
[35] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 627) (Załącznik 1),
[36] Wiącek J., Polak M., Kucharczyk M., Zgorzałek S., *Wpływ hałasu drogowego na ptaki*, Budownictwo i Architektura 13(1) (2014) 75-8

5. Korytarze ekologiczne i przejścia dla zwierząt

5.1. Wprowadzenie

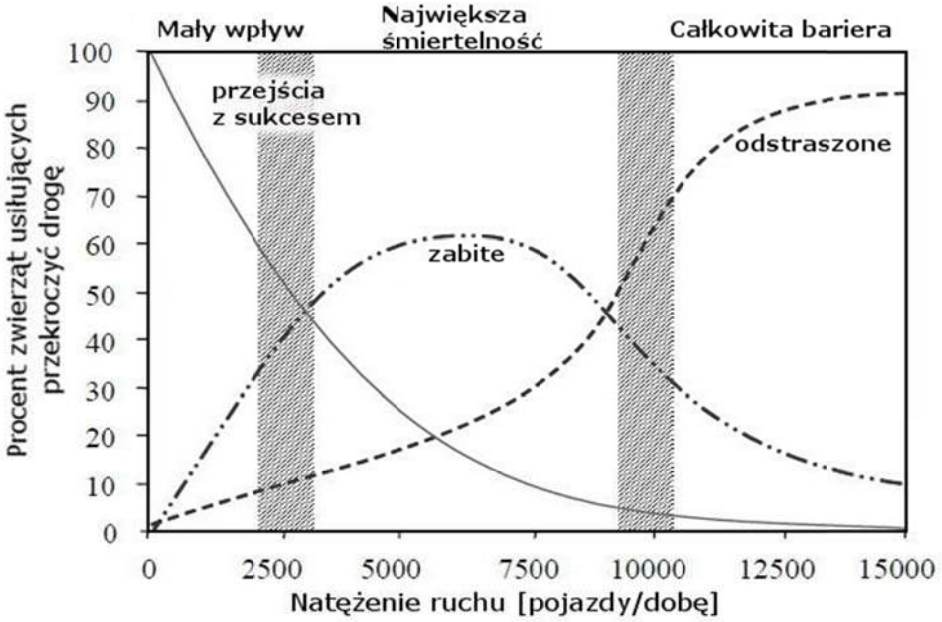
W czasach przyspieszonego rozwoju infrastruktury drogowej oraz zagospodarowywania kolejnych terenów, działalność człowieka niejednokrotnie styka się z obszarami ekologicznie cennymi. Powstaje wtedy problem pogodzenia potrzeb rozwoju nowych inwestycji z ochroną środowiska. Rozszerzająca się sieć dróg oraz linii kolejowych prowadzi do trwałego podziału naturalnych obszarów siedliskowych zwierząt, stając się barierą trudną do przebycia zarówno dla migrujących ssaków jak i gadów. Fragmentacja taka zwiększa niebezpieczeństwo kolizji i wypadków z ich udziałem . Zwierzęta przemieszczają się, przechodząc przez drogę, zarówno w ramach zwykłej aktywności, jak również w celu dalszych wędrówek. Odległości, na jakie migrują, są uzależnione od specyfiki danego gatunku i mogą sięgać nawet 300 km (np. dziki).

Tabela 5.1
Najechanie na zwierzę – zdarzenia drogowe i ich skutki. Źródło: statystyki policyjne.

Rok	Wypadki	Zabici	Ranni
2000	100	1	127
2001	118	2	156
2002	97	4	128
2003	102	3	139
2004	107	10	152
2005	102	8	133
2006	85	2	123
2007	128	5	166
2008	156	6	207
2009	177	7	217
2010	149	11	175
2011	162	3	205
2012	166	5	205
2013	179	12	221
2014	193	8	246
Razem	**2021**	**87**	**2600**

Zwierzę w wyniku zderzenia z samochodem nie ma praktycznie żadnych szans na przeżycie (np. jeleniowate w 98% ponoszą śmierć w wyniku kolizji [1]). Oczywiście w takich wypadkach są również ofiary wśród ludzi. Zestawienie z lat 2000-2014 wskazuje, iż liczba tego typu zdarzeń systematycznie rośnie (Tabela 5.1). Statystyki policyjne nie przedstawiają jednak pełnego obrazu zjawiska, gdyż nie są rozróżniane w nich wypadki ze zwierzętami dzikimi i domowymi. Ponadto szacuje się, że jedynie co czwarty kierowca zgłasza taki wypadek, więc rzeczywiste liczby są znacznie większe. Wzrost liczby kolizji spowodowany jest w głównym stopniu rosnącym natężeniem ruchu drogowego [1].

Możliwość przejścia zwierząt przez drogę uzależniona jest od szerokości jezdni oraz natężenia ruchu. Jeżeli natężenie ruchu nie przekracza 1000 pojazdów/dobę, większość osobników nie ma problemu z przedostaniem się na drugą stronę, ale już przy liczbie 2500 pojazdach/dobę udaje się to już tylko co drugiemu osobnikowi. Przy natężeniu powyżej 8000 pojazdów/dobę ruch drogowy zaczyna odstraszać coraz większą liczbę zwierząt, a powyżej 10000 pojazdów/dobę staje się całkowitą barierą ekologiczną (Rys. 5.1) [2].



Rys. 5.1. Koncepcyjny model wpływu natężenia ruchu drogowego na skuteczność prób przekraczania dróg przez zwierzęta oraz na śmiertelność zwierząt na drogach. Model bazuje na danych empirycznych [2]

Istnieją różne metody ograniczania śmiertelności drogowej zwierząt, takie jak ustawianie znaków drogowych ostrzegających o możliwości kolizji ze zwierzęciem, montowanie gwizdków odstraszających na zderzakach samochodów czy też grodzenie poboczy. W ostatniej z wymienionych metod należy jednak pamiętać, że tego typu rozwiązania mogą doprowadzić do uniemożliwienia migracji, a tym samym do zahamowania przepływu genów. Skutkiem kojarzenia wsobnego będzie z kolei ujawnianie chorób genetycznych, spadek odporności i zdolności przystosowawczych do zmian środowiska, co w efekcie

zazwyczaj prowadzi do degeneracji populacji zwierząt żyjących na danym obszarze. Aby ten proces zahamować, w Europie zaczęto stosować rozwiązania umożliwiające migrację zwierząt poprzez projektowanie bezpiecznych dla nich przejść. Ponadto od 2001 roku prawo ochrony środowiska, w przypadku przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, nakłada na inwestora obowiązek określenia wpływu drogi na środowisko naturalne [3,4].

5.2. Rodzaje przejść dla zwierząt

Przejścia dla zwierząt można podzielić ze względu na docelową grupę zwierząt mających z nich korzystać (ich wielkość), ze względu na usytuowanie względem drogi (górne, dolne) oraz ze względu na funkcje ekologiczne (samodzielne lub zespolone) [5,6]. Poniżej przedstawiona została klasyfikacja przejść dla zwierząt z uwzględnieniem rozwiązania konstrukcyjnego.

5.2.1. Przejścia po powierzchni drogi

Jest to najprostszy i najtańszy wariant polegający na pozostawieniu odcinka (minimum 200 m) drogi bez ogrodzenia. Fragment drogi musi spełniać kilka warunków: droga musi przebiegać na poziomie otaczającego ją terenu, koniecznie jest zastosowanie wygrodzeń naprowadzających zwierzęta na wybrany fragment drogi, należy również wprowadzić ograniczenie prędkości ruchu pojazdów do 50 km/h. Ponadto na długości przejścia zalecane jest stosowanie systemów ostrzegawczych przed nadjeżdżającym pojazdem np. w postaci elementów odblaskowych kierujących światło od pojazdu poza obrys drogi, ostrzegając w ten sposób przed nadjeżdżającym pojazdem. Przejścia takie są skuteczne w przypadku dużej zwierzyny, aczkolwiek często dochodzi na nich do kolizji.

Ze względu na fakt, iż tego typu przejścia mogą powstawać jedynie przy drogach o niewielkim natężeniu ruchu pojazdów, problem nadmiernego hałasu nie istnieje. W takim przypadku fakt, iż nadjeżdżający samochód jest dobrze słyszalny staje się zaletą.

Od pewnego czasu funkcjonuje natomiast system ostrzegania zwierząt przed nadjeżdżającymi pociągami. Cały system, będący pomysłem Simony Kossak, oddziałuje na instynkt samozachowawczy zwierząt. Urządzenie, na minutę przed przejazdem pociągu, rozpoczyna nadawanie sygnału dźwiękowego i kończy go po przejechaniu całego składu. Obserwacje prowadzone na odcinkach linii objętych taką ochroną potwierdzają skuteczność tego rozwiązania [7].

5.2.2. Przejścia górne

- przejście górne duże (tzw. most krajobrazowy, Rys. 5.2) o minimalnej szerokości 50 m oraz stosunku szerokości do długości powyżej 0,8; Są to przejścia o szczególnym znaczeniu przyrodniczym. Wykorzystywane przez wszystkie grupy zwierząt, m. in. duże ssaki takie jak łoś, żubr, jeleń, sarna, dzik, wilk, ryś oraz niedźwiedź.

- przejście górne (tzw. zielony most, Rys. 5.3) to przejście w formie wiaduktu nad drogą o minimalnej szerokości 35 m (zalecane 40 m). Wykorzystywane przez średnie i małe ssaki oraz przez płazy, gady i bezkręgowce.

Przejścia górne budowane są nad trasami o dużym natężeniu ruchu pojazdów, emitujących znaczny hałas mogący odstraszać zwierzęta i zniechęcać je do korzystania z mostu. Dlatego też niejednokrotnie konieczne jest wykonywanie zabezpieczeń akustycznych w postaci nasypów ziemnych bądź też ekranów akustycznych.

Rys. 5.2. Przejście górne duże nad autostradą A4.

Rys. 5.3. Przejścia górne (zielony most) nad autostradą A1 w Chorwacji (fot. Monika Mleczko).

5.2.3. Przejścia dolne

- przejście dolne pod estakadą (przejście krajobrazowe, Rys. 5.4), czyli estakada o wysokości od powierzchni terenu powyżej 5 m (zalecane powyżej 10 m) i długości przęseł minimum 15 m. Wykorzystywane przez wszystkie grupy zwierząt, m. in. duże ssaki takie jak łoś, żubr, jeleń, sarna, dzik, wilk, ryś oraz niedźwiedź.

- przejście dolne duże w formie dużego tunelu pod drogą o przekroju prostokątnym lub eliptycznym, szerokości powyżej 15 m, wysokości minimum 3,5 m (zalecane minimum 5 m) oraz współczynniku względnej ciasnoty $E \geq 1{,}5$, który wyrażany jest za pomocą wzoru:

$$E = \frac{B \times H}{L}$$

gdzie:
E – współczynnik względnej ciasnoty,
B – szerokość przejścia widzianego jako otwór w korpusie drogi,
H – wysokość przejścia widzianego jako otwór w korpusie drogi,
L – długość przejścia widzianego jako otwór w korpusie drogi.

Wykorzystywane przez wszystkie grupy zwierząt, ze szczególnym uwzględnieniem dużych ssaków.

- przejście dolne średnie w formie tunelu pod drogą o przekroju prostokątnym lub eliptycznym, szerokości powyżej 6 m, wysokości minimum 2,5 m (zalecane minimum 3,5 m) oraz współczynniku względnej ciasnoty $E \geq 0{,}7$. Wykorzystanie jak w przypadku zielonych mostów.

- przejście dolne małe w formie małego tunelu (lub przepustu) pod drogą o szerokości powyżej 1,5 m (zalecane powyżej 2,5 m), wysokości minimum 1 m (zalecane minimum 1,5 m) oraz współczynniku względnej ciasnoty $E \geq 0{,}07$. Przeznaczone dla małych ssaków (borsuk, lis, kuna, łasica, wydra, gronostaj, tchórz…) oraz płazów, gadów, bezkręgowców i nietoperzy.

- przejście dla płazów w formie małego tunelu o szerokości powyżej 1 m i minimalnej wysokości 0,75 m (Rys. 5.5). Przeznaczone dla płazów oraz niektórych ssaków (łasica, gronostaj…), gadów i bezkręgowców.

Rys.5.4. Przejście dolne pod estakadą (autostrada A4 na odcinku Szarów – Brzesko).

Rys.5.5. Przejście dla płazów (autostrada A4 na odcinku Szarów – Brzesko).

5.2.4. Przejścia o funkcjach zespolonych

Są to przejścia łączące funkcje ekologiczne z gospodarczymi. Mogą to być przejścia dla zwierząt zespolone z ciekiem wodnym lub drogą gospodarczą (górne lub dolne) o niewielkim natężeniu ruchu (Rys. 5.6).

Rys. 5.6. Przykład przejścia górnego zespolonego z drogą

5.3. Aspekty akustyczne projektowania przejść dla zwierząt

Aby korytarze migracyjne mogły prawidłowo funkcjonować muszą być odpowiednio wdrożone do planów zagospodarowania przestrzennego, a następnie objęte ochroną prawną i administracyjną. Poprawne projektowanie dróg jest szansą na zrównoważony rozwój, ale wymaga ciągłej i ścisłej współpracy drogowców nie tylko z przyrodnikami specjalizującymi się w ochronie środowiska, ale i wszystkimi jednostkami prowadzącymi badania w zakresie zanieczyszczenia powietrza, gleby i wód. Dzikie zwierzęta instynktownie starają się trzymać z daleka od miejsc przebywania i działalności człowieka. Dlatego też poziom hałasu związany z ruchem pojazdów wpływa znacząco na stopień wykorzystywania przejścia przez zwierzęta (dotyczy to w szczególności dużych i średnich ssaków [8]). Nadmierny

hałas może skutecznie zniechęcać zwierzęta do eksploatacji terenów sąsiadujących z przejściami oraz samych przejść. Toteż prawidłowo zaprojektowane i wykonane przejście powinno we właściwy sposób izolować zwierzęta od przecinającej drogi (czyli zarówno od hałasu, jak i świateł przejeżdżających pojazdów).

Projektowanie przejść krajobrazowych i zielonych mostów należy zawsze rozpocząć od szczegółowej analizy lokalizacji planowanego przejścia. Przede wszystkim projektowane przejście powinno znajdować się w miejscach na przecięciu z korytarzami ekologicznymi oraz z siedliskami. Należy również wziąć pod uwagę niweletę projektowanej drogi, gdyż zaprojektowanie jej przebiegu po istniejącym, płaskim terenie, a następnie wznoszenie ponad nią przejścia jest nieprawidłowe. Na takim przejściu odpowiednie wyciszenie hałasu drogowego jest bardzo trudne, ponadto zwierzęta wchodząc będą musiały się wspinać na wysokość przynajmniej 7m, co może je skutecznie zniechęcać do używania. Dodatkowym ograniczeniem będzie fakt, że zwierzęta nie wchodzą na most, jeśli nie widzą co jest po drugiej stronie (las, krzewy), a w takim przypadku będą miały przed sobą jedynie widok nieba, ogrodzenia bądź też ekranów akustycznych [8,9]. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest poprowadzenie autostrady w wykopie (naturalnym lub sztucznym) o głębokości 3-4 m i usytuowanie przejścia z niewielkim wzniesieniem ponad drogą. Rozwiązanie to znacząco redukuje hałas drogowy. Dalsze obniżanie poziomu hałasu na przejściu wiąże się z koniecznością budowy zabezpieczeń akustycznych. Jedną z najtańszych i najbardziej efektywnych osłon przed hałasem oraz światłami pojazdów są wały ziemne usypywane wzdłuż drogi, nad przyczółkiem oraz na samym moście. W przypadku dojść do mostu takie rozwiązanie może okazać się wystarczające. Jednak na samym przejściu najczęściej, poza nasypem ziemnym, konieczne jest stosowanie ekranów akustycznych lub przeciwolśnieniowych [9]

W przypadku przejść dolnych, dla dużych i średnich zwierząt, obiekty ekranujące powinny zostać usytuowane wzdłuż jezdni powyżej przejścia. Należy przy tym pamiętać o zachowaniu odpowiedniej długości ekranu (przynajmniej po 50 m od każdej z krawędzi przejścia) w celu zapewnienia odpowiedniej efektywności. W przypadku zastosowania okien/szczelin doświetleniowych (przy długich przejściach pod drogami dwujezdniowymi) należy zastosować na ich powierzchni elementy ograniczające przenikanie hałasu do przejścia. Ponadto szczeliny dylatacyjne powinny być zaprojektowane w sposób ograniczający emisję hałasu w stronę przejścia. W przeciwnym razie hałas impulsowy, powstający w trakcie przejazdów (mogący przypominać wystrzał z broni palnej), będzie skutecznie odstraszał wszystkie gatunki zwierząt.

Co prawda istnieją zalecenia mówiące o stosowaniu ekranów akustycznych na przejściach dla dużych zwierząt [8], brak jest natomiast szczegółowych wytycznych odnośnie ich projektowania. Nie zostały określone dopuszczalne poziomy hałasu na samym przejściu oraz w jego okolicach, co powoduje niepewność odnośnie zasadności stosowania ekranów akustycznych w konkretnym przypadku oraz późniejszą oceną zastosowanego rozwiązania. Nie wiadomo też w jaki sposób projektować zabezpieczenia akustyczne, gdyż nie zostały określone dopuszczalne poziomy hałasu w odniesieniu do grup zwierząt docelowo mających korzystać z przejścia. Co prawda Rozporządzenia [10,11], Obwieszczenie [12] oraz Dyrektywa Parlamentu Europejskiego [13] wprowadzają pojęcie „środowisko", ale definiują je jako obszar, w którym przebywają ludzie, nie odnosząc się do środowiska zwierzęcego. Natomiast zakres słyszenia zwierząt jest przede wszystkim inny, a często szerszy, niż ucha ludzkiego, co budzi szereg wątpliwości podczas stosowania wytycznych sformułowanych w odniesieniu do miejsc zamieszkałych przez ludzi podczas projektowania przejść dla zwierząt.

Autorzy podejmują próbę zwrócenia uwagi na fakt, iż oddziaływanie inwestycji drogowej wiąże się z oddziaływaniem na klimat akustyczny, w związku z tym konieczne jest przeprowadzenie badań, które pozwoliłyby na wypracowanie metodyk pomiarowych oraz ocenę klimatu akustycznego w najbardziej newralgicznych punktach korytarzy ekologicznych – przejść dla zwierząt.

5.4. Porealizacyjna analiza klimatu akustycznego przejścia dla zwierząt

Autorzy podjęli próbę porealizacyjnej analizy klimatu akustycznego górnego przejścia dla zwierząt (mostu krajobrazowego), znajdującego się na 462 km autostrady A4 we wsi Damienice, na odcinku przy Puszczy Niepołomickiej należącej do Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura 2000 (Rys. 5.7). Przejście to zostało zbudowane w celu zachowania korytarza migracyjnego przede wszystkim dla dużych zwierząt, takich jak jeleń, łoś, sarna, dzik oraz potencjalnie wilk i ryś. Prawo ochrony środowiska w przypadku przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko nakłada na inwestora określenia zakresu, charakteru, wielkości i złożoności, czas okresu, częstotliwości i odwracalności wpływu drogi na środowisko naturalne [14].

Rys.5.7. Lokalizacja omawianego przejścia dla zwierząt [14].

Przedmiotowe przejście (Rys. 5.8 i Rys.5.9) posiada 110 m szerokości, wyjście i zejście realizowane jest przez łagodnie pochylone skarpy (15%) rozchylające się w kształt lejka o kącie rozwarcia 120°. Autostrada A4 w okolicy przejścia poprowadzona została na niskim nasypie (około 2 m powyżej terenu istniejącego) i wyposażona została w ekrany akustyczne (typu „zielona ściana") o wysokości 4m. Samo przejście wyposażone jest z obydwu stron w drewniane ekrany przeciwolśnieniowe o wysokości 3 m, które łączą się

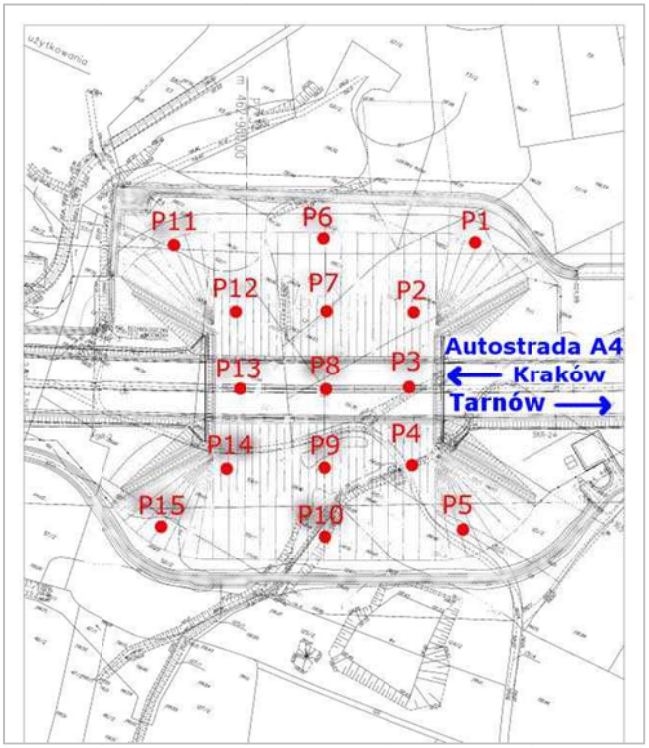
w sposób ciągły z ogrodzeniem ochronnym. Nie przewidziano natomiast zastosowania na przejściu ekranów akustycznych [15].

Rys.5.8. Przejście dla zwierząt na 462 km autostrady A4 – widok z autostrady.

Rys.5.9. Przejście dla zwierząt na 462 km autostrady A4 – widok od strony Puszczy Niepołomickiej.

Autorzy przy współpracy z Nadleśnictwem Niepołomice, prowadzili na przejściu pomiary hałasu, generowanego przez ruch drogowy w celu podjęcia dyskusji dotyczących wytycznych do projektowania przejść dla zwierząt, odnoszących się do klimatu akustycznego.

Pierwsze badania, mające na celu ocenę klimatu akustycznego na przedmiotowym przejściu, przeprowadzono latem w godzinach wieczornych, kiedy tło akustyczne w postaci śpiewających ptaków jest najniższe. Punkty pomiarowe zostały rozmieszczone równomiernie na przejściu oraz na przyczółkach. Na Rys. 5.10 przedstawiono rzut przejścia wraz z rozmieszczeniem punktów pomiarowych. Jednocześnie z sygnałem akustycznym monitorowano natężenie ruchu samochodowego (wyniki przedstawiono w Tabeli 5.2) oraz warunki meteorologiczne (Tabela 5.3).



Rys.5.10. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na powierzchni badanego przejścia dla zwierząt [13].

We wszystkich punktach pomiarowych wykonywano pomiary równoważnego poziomu dźwięku (L_{Zeq} oraz L_{Aeq}) na wysokościach 1,5 oraz 4 m n.p.t., z mikrofonami umieszczonymi na statywach. Wysokość 1,5 m została wybrana, gdyż odpowiada w przybliżeniu wysokości, na której znajdują się uszy takich zwierząt jak sarny, kozły, łanie czy jelenie. W każdym z punktów czas pomiaru wynosił 10 – 15 min. Sygnał akustyczny rejestrowano w godzinach 15-19. Zbiorcze zestawienie wyników pomiarów poziomów równoważnych zaprezentowano w Tabeli 5.4.

Tabela 5.2
Natężenie ruchu samochodowego na 462 km autostrady A4.

Charakterystyka ruchu pojazdów dla reprezentacyjnej 1h		Liczba pojazdów lekkich	Liczba pojazdów ciężkich
Kierunek	Kraków	383	102
	Tarnów	448	86

Tabela 5.3
Warunki meteorologiczne w trakcie wykonywania pomiarów.

Parametr	Wartość średnia
Ciśnienie [hPa]	1021
Temperatura [°C]	16 – 21
Wilgotność [%]	40 – 60
Prędkość wiatru [m/s]	0 – 1,5

Tabela 5.4
Wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku L_{LINeq} oraz L_{Aeq}.

Nr punktu pomiarowego	L_{LINeq} [dB]		L_{Aeq} [dB]	
	1,5 m	4 m	1,5 m	4 m
1	68,9	72,8	56,1	56,6
2	62,8	80,3	58,4	61,4
3	61,8	81,1	53,2	58,7
4	60,9	76,0	50,0	54,8
5	60,1	76,5	53,9	53,9
6	63,9	62,3	55,2	55,1
7	63,8	63,7	58,7	61,8
8	61,3	62,6	54,9	57,5
9	60,8	60,6	53,9	55,8
10	58,9	58,7	53,6	54,3
11	65,1	64,1	55,8	55,5
12	64,3	64,6	60,6	55,7
13	64,1	65,1	55,6	62,9
14	63,4	65,4	55,6	60,8
15	59,7	60,7	53,2	53,0

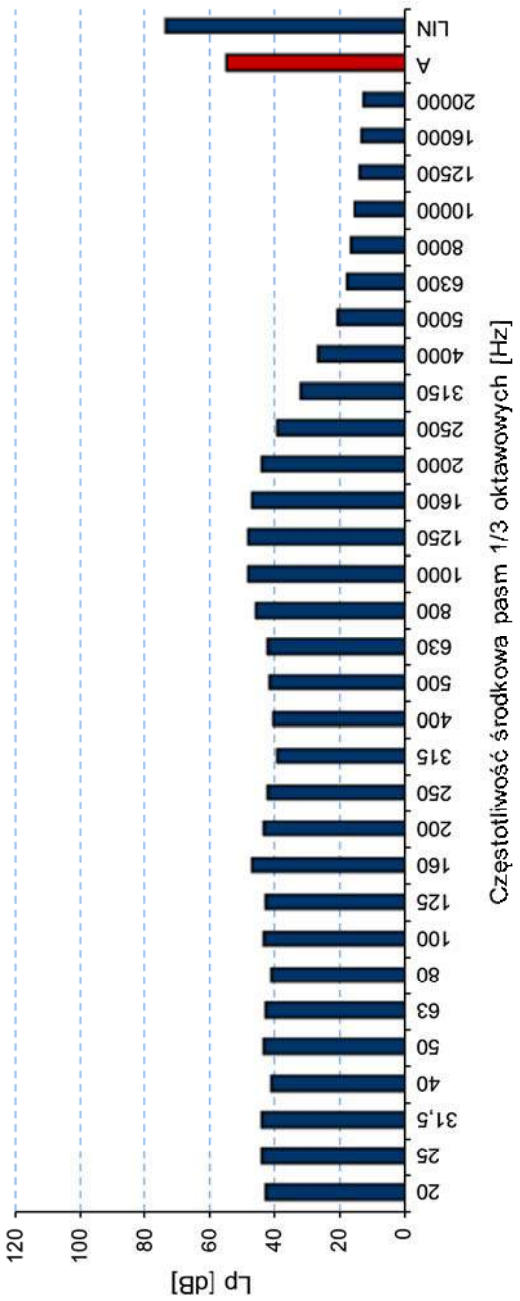
L_{Aeq} – równoważny poziom dźwięku A,
L_{LINeq} – nieskorygowany równoważny poziom dźwięku.

Tabela 5.5

Wyniki pomiaru widma poziomu ciśnienia akustycznego w punkcie P8 na wysokości 1,5 m n.p.t.

Numer punktu pomiarowego	**Długość geograficzna**	**Szerokość geograficzna**	*Data pomiaru:*
P8	*E20°23'07"*	*N49°59'48"*	*11.06.2014*

f, Hz	**L, dB**
20	42,7
25	43,8
31,5	44
40	40,9
50	43,2
63	42,9
80	40,7
100	43,2
125	43
160	47,1
200	43,3
250	42,1
315	39,3
400	40,1
500	41,7
630	42,4
800	45,6
1000	48,3
1250	48,3
1600	47,1
2000	44,2
2500	39,4
3150	32
4000	26,6
5000	20,8
6300	17,9
8000	16,6
10000	15,4
12500	14
16000	13
20000	12,8
A	54,9
LIN	73,3



Lp - poziom ciśnienia akustycznego, dB

Dodatkowo, we wszystkich punktach rejestrowano widma 1/3 oktawowe w pasmach od 20 Hz do 20 kHz. Przykładowe wyniki pomiarów widma poziomu ciśnienia akustycznego oraz poziomów równoważnych (A, LIN) w punkcie P8 (centralne miejsce przejścia) na wysokości 1,5 m n.p.t. przedstawiono w Tabeli 5.5. Różnica w wartościach równoważnych poziomów A i LIN wynika z faktu, iż krzywa korekcyjna A posiada bardzo duże poprawki korekcyjne w zakresie niskich częstotliwości.

Analizując otrzymane wyniki należy stwierdzić, iż z punktu widzenia słuchu człowieka poziom hałasu na przedmiotowym przejściu jest znaczny. Należy jednak pamiętać, że użytkownikami obiektu są zwierzęta. Niestety, przy obecnym stanie wiedzy, nie można jednoznacznie określić w jaki sposób hałas o takim natężeniu wpływa na zwierzęta korzystające z przejścia oraz czy nie powoduje on odstraszania bądź też zniechęcania zwierząt do migrowania tą drogą.

5.5. Podsumowanie

Autorzy zwracają uwagę na to, że przejścia oddane do użytku należy objąć jednolitym pod względem metodyki monitoringiem. Monitoring taki powinien uwzględniać klimat akustyczny panujący na przejściu i jego okolicy oraz stopień wykorzystania go przez zwierzęta. Tylko dzięki danym z długoletnich obserwacji możliwe będzie pogłębienie obecnego stanu wiedzy w tym temacie, a co za tym idzie podjęcie próby określenia wytycznych do realizacji kolejnych tego typu inwestycji oraz wyznaczenia dopuszczalnych poziomów hałasu na przejściach oraz w jego okolicach.

Literatura

[1] Borowska S., *Śmiertelność zwierząt na drogach w Polsce,* Raport przygotowany w ramach projektu „Ochrona gatunkowa rysia, wilka i niedźwiedzia w Polsce", realizowanego przez WWF Polska, Warszawa, 2010.

[2] Seiler A. *The toll of the automobile: Wildlife and roads in Sweden*. Appendix 2: 1-20. PhD thesis. Silvestria 295. Department of Conservation Biology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.

[3] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. (wersja ogłoszona, Dz. U. z 2001 r. Nr 62, poz. 627)

[4] Rozporządzenie Ministra Transportu I Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. *w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie* (Dz.U.2000.63.735).

[5] Kurek R., 2011. *Przejścia dla zwierząt przy drogach– rozwiązania optymalne oraz doświadczenia i problemy w zakresie projektowania*, cz. 1 [w:] Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, Maj – Czerwiec 2011.

[6] Burdzik R., Wojtas K. Drogi i migracje zwierząt – strefy kolizyjne, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Transport; 2011(71) 19–26, ICID: 979218.

[7] http://www.neel.com.pl/web/?id=1,5,39 (dostęp 22.10.2015).

[8] Kurek R.T. Poradnik projektowania przejść dla zwierząt i działań ograniczających śmiertelność fauny przy drogach, Warszawa, 2010.
[9] Sołowczuk A.: *Niemieckie doświadczenia w ochronie środowiska i budowie przejść dla zwierząt na przykładzie niemieckiej autostrady A20*, Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Ochrona Środowiska i Estetyka a Rozwój Infrastruktury Drogowej", Kazimierz Dolny 7-9 października 2009, s. 390-401.
[10] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. *w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku*, Dz. U. nr 120, poz. 826
[11] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2010 r. *w sprawie sposobu ustalenia wartości wskaźnika hałasu LDWN*, Dz. U. nr 215, poz. 1414.
[12] Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 22 stycznia 2014, poz.112 z dnia 15 października 2013 *w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku*.
[13] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. *odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku*, Dz. U. L 189 z 18.7.2002, str.12
[14] Mleczko D., Ozga A., Kłaczyński M., Piechowicz J., Kasprzak C., *Acoustic climate of the wildlife crossing over the A4 expressway,* 7th Forum Acusticum 2014, Kraków 7-12.09.2014, books of abstract and programme s. 234, pełny tekst na dołączonym CD.
[15] Piechowicz J., Ozga A., Mleczko D., Pamuła H., Wierzbicki J., Małecki P., *Sounds in The Niepołomicka Forest (Natura 2000)*, 7th Forum Acusticum 2014, Kraków 7-12.09.2014, books of abstract and programme s. 234, pełny tekst na dołączonym CD.

6. Tłumienie hałasu przez zieleń

Rośliny są jednym z podstawowych elementów mających wpływ na zachowanie równowagi ekologicznej w środowisku życia człowieka. Największą jednak rolę w tym względzie odgrywa roślinność drzewiasta. Związane jest to ze specyficznymi i różnorodnymi właściwościami tej grupy roślin, a także ich formami przestrzennymi. Do najważniejszych funkcji zieleni należy poprawa warunków klimatycznych, a zasięg ich oddziaływania jest proporcjonalny do powierzchni, jaką zajmują. W skali lokalnej istotny jest również ich układ przestrzenny (korelacja z zabudową), wzajemne powiązania i struktura gatunkowa.

Zieleń ma duży wpływ na propagację fali akustycznej w środowisku. Badanie wpływu zieleni na proces propagacji dźwięku jest dosyć skomplikowane ze względu na złożone procesy oddziaływania pomiędzy gruntem, roślinnością i atmosferą. Badania wpływu zieleni na propagację dźwięku są dosyć często prowadzone w różnych ośrodkach naukowych, jednak ich wyniki trudno jest ujednolicić.

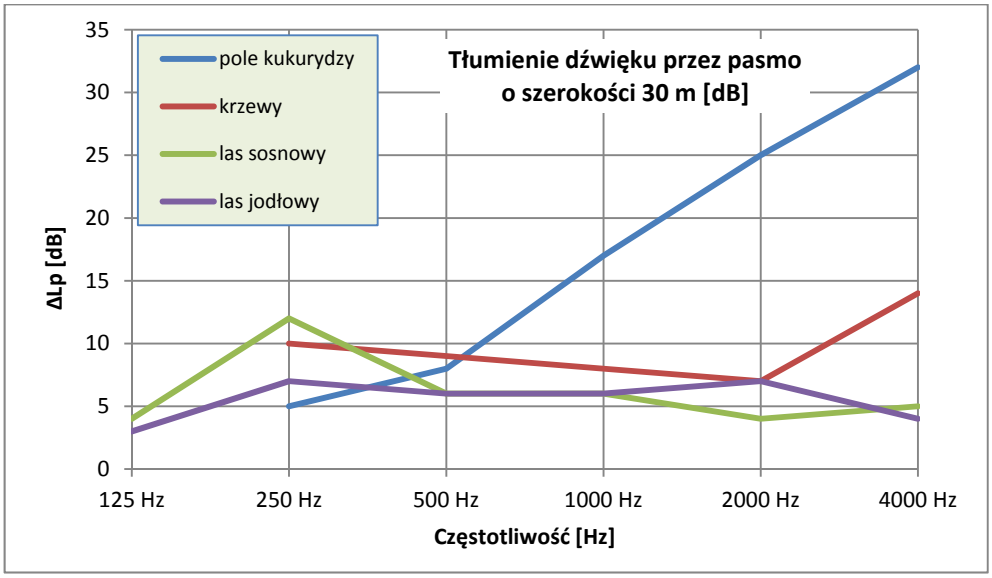
6.1. Wpływ zieleni na propagację fali akustycznej

Na świecie pierwsze badania dotyczące wpływu zieleni na rozchodzenie się dźwięków zaczęto prowadzić, w latach 60-tych ubiegłego wieku. Nastąpiło to wtedy, gdy skokowy wzrost motoryzacji spowodował znaczący wzrost hałasu emitowanego do środowiska.

Na początku lat 70-tych ubiegłego wieku D. Aylor przedstawił wyniki swoich badań nad tłumieniem dźwięku przez pasma zieleni. W swoich badaniach wyznaczał tłumienie dźwięku przez pasma zieleni o szerokości 30 m dla czterech rodzajów:

- pole kukurydzy,
- krzewy,
- las iglasty (sosnowy),
- las iglasty (jodłowy).

Badania te wykazały, że w niskich częstotliwościach (250 Hz) las iglasty posiada stosunkowo duże tłumienie (prawdopodobnie ze względu na wysokość pasma zieleni). W wyższych częstotliwościach najbardziej redukuje poziomu dźwięku pole kukurydzy. Niestety kukurydza jest rośliną typowo sezonową i jej oddziaływanie akustyczne jest krótkotrwałe (Rys. 6.1) [4].



Rys. 6.1. Obniżanie poziomu dźwięku przez różne gatunki zieleni [4]

J. G. Migeron przeprowadzał badania pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku przez rośliny w komorze. Przebadał on między innymi:

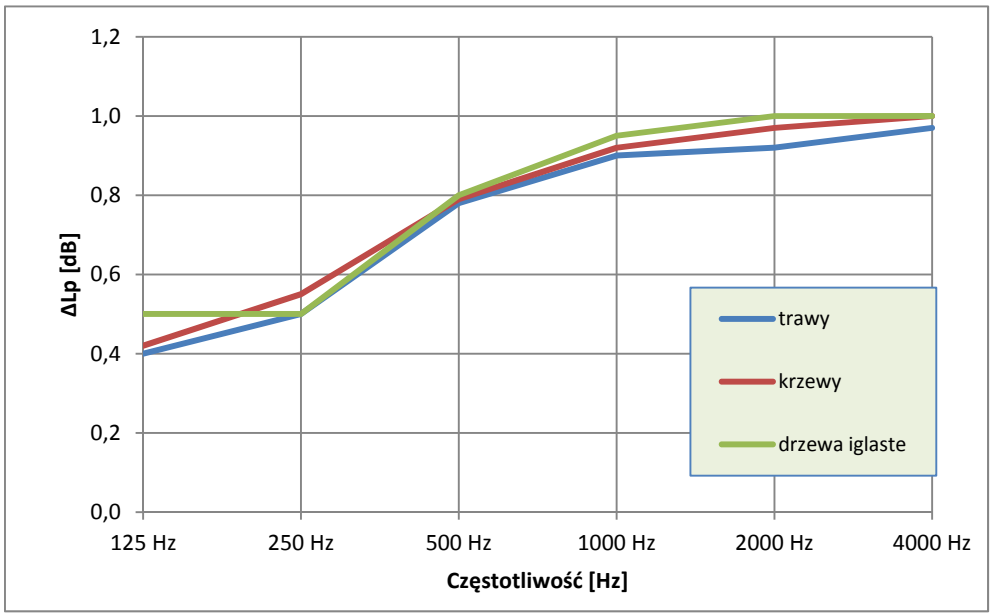
- trawy;
- krzewy o wysokości 0,6 m;
- drzewa iglaste o średniej wysokości 1,7 m.

Aby łatwiej porównać wyniki pomiarów, sztuczne krzewy wykonane były z gałęzi świerka srebrnego i jodły balsamicznej, ułożone tak jak krzewy naturalne o zagęszczeniu 30 roślin na 10m^2. Natomiast drzewa (świerk srebrny i jodła balsamiczna) rozmieszczone były w zagęszczeniu 7 roślin na 10m^2 (Rys.6.2).

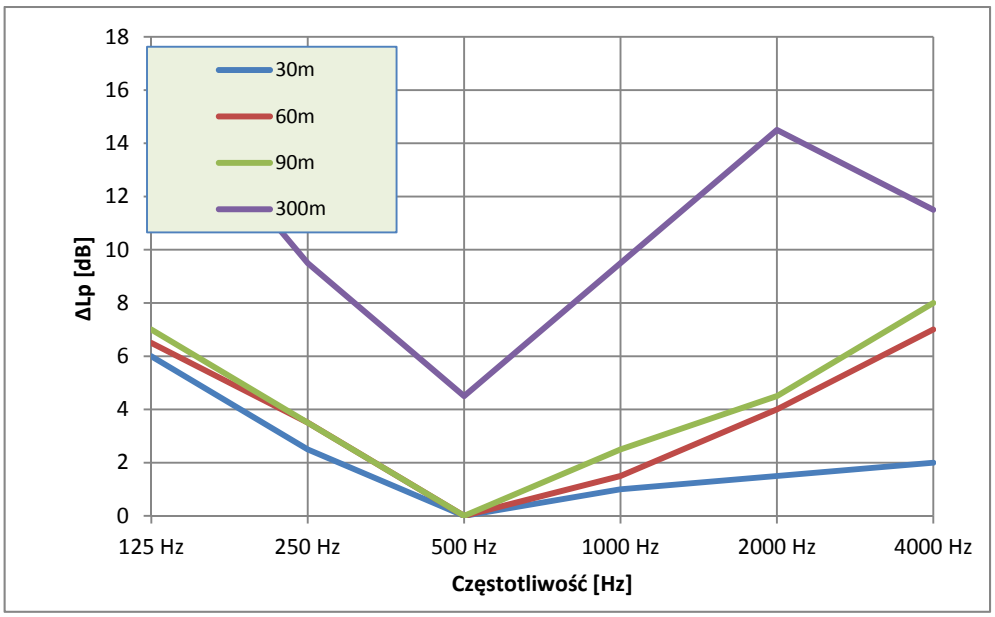
Rezultaty badań potwierdziły, że obok absorpcji także inne zjawiska falowe (np. interferencja) mają wpływ na tłumienie dźwięku przez rośliny[4].

J. G. Migneron badał również efekt obniżenia hałasu pochodzącego od drogi wiodącej wzdłuż gęstego lasu mieszanego liściasto-iglastego o różnej wysokości roślin od 0.5 m do 30 m. Badanymi roślinami były: tuje, klony, świerki, modrzewie, jodły i wysokie sosny.

Na podstawie przeprowadzonych przez niego badań, można stwierdzić, że dla częstotliwości poniżej 500 Hz nie ma dużego wzrostu tłumienia wraz z szerokością pasma zieleni. Przy wyższych częstotliwościach wzrost ten jest już znaczny (Rys.6.3).



Rys. 6.2. Współczynnik pochłaniania dźwięku przez różne rodzaje zieleni [3]



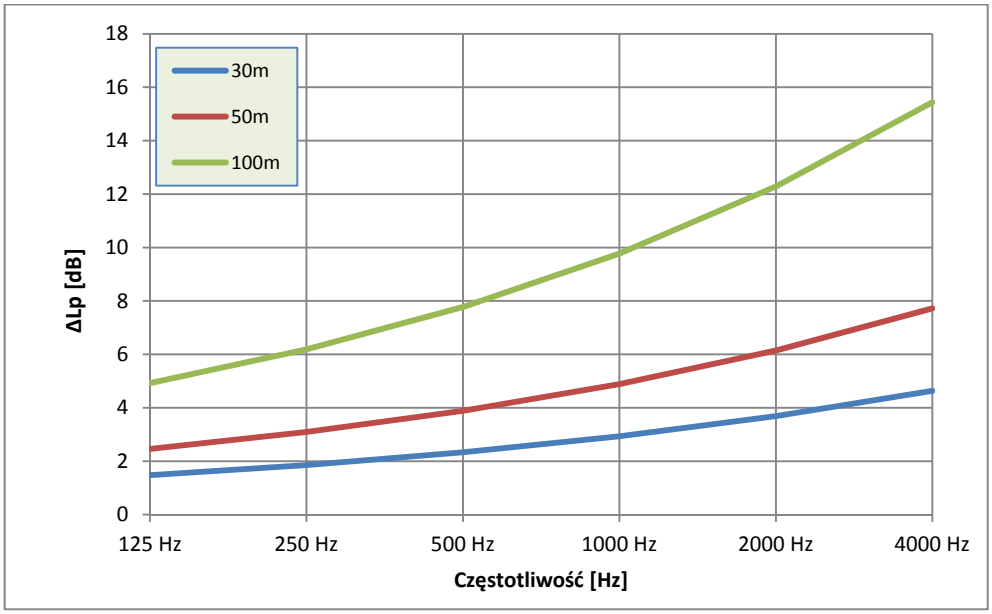
Rys. 6.3. Wpływ szerokości pasma leśnego na obniżenie poziomu dźwięku [3]

Analityczne podejście do zjawiska tłumienia hałasu przez pasma zieleni przedstawili Kurze i Beranek. Proponują oni określenie obniżenia poziomu dźwięku dla terenów leśnych przy pomocy zależności (podawanej wcześniej przez Hoover'a) w postaci [4]

$$\Delta L_p = 0.01\sqrt[3]{fr} \quad \text{[dB]} \tag{6.1}$$

gdzie: f – częstotliwość dźwięku, Hz

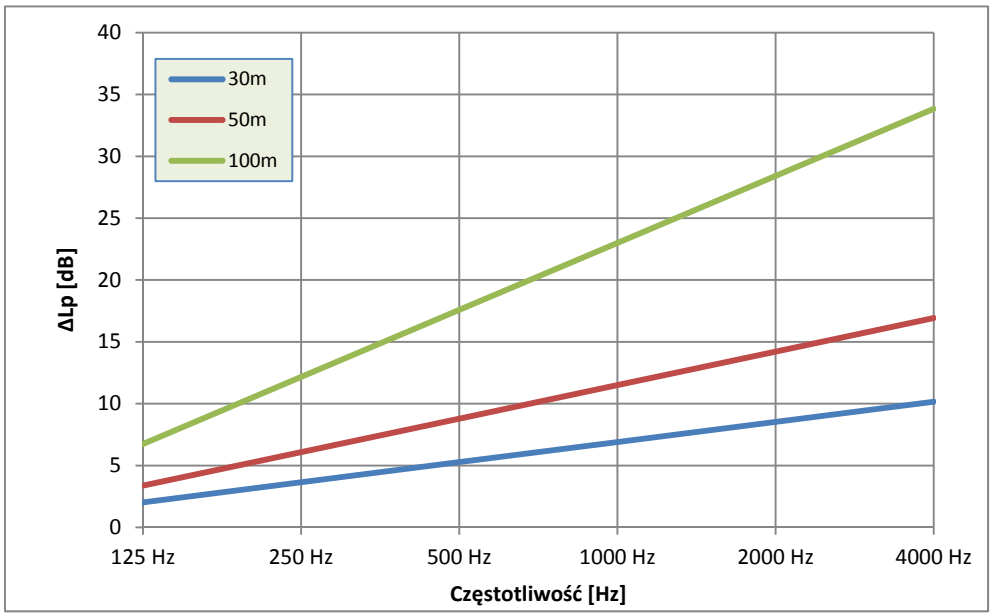
r - odległość od osi jezdni, m.



Rys. 6.4. Obniżenie hałasu przez strefę leśną wg Kurze i Beranka [3]

Ci sami autorzy, powołując się na pracę Meister'a i Ruhrberg'a oraz Eyring'a podają zależność na obniżanie hałasu przez wysokie trawy i krzewy w postaci [4]

$$\Delta L_p = \left(0.18 \log\left(f\right) - 0.31\right) r \quad \text{[dB]} \tag{6.2}$$



Rys. 6.5. Obniżenie hałasu przez strefę wysokich traw i krzewów wg równania (6.2) [3]

Z. Engel [1] podaje, że zieleń w stanie ulistnionym redukuje poziom dźwięku od 0.03 do 0.35 dB na 1 m szerokości psa zieleni. W stanie bezlistnym pasmo zieleni redukuje poziom dźwięku od 0.01 do 0.20 dB na 1 m szerokości przegrody. Wskazuje on również, że lepsza jest skuteczność redukcji poziomu dźwięku przez kilka pasm zieleni oddalonych od siebie o parę metrów. W swojej pracy prezentuje także wzór do wyznaczania hałasu w żądanej odległości od źródła:

$$L_x = L_n - K_1 K_2 \cdot 10\lg\left(\frac{r_x}{r_n}\right) \quad \text{[dB]} \tag{6.3}$$

gdzie:

Lx - szukany poziom natężenia dźwięku w odległości x od źródła;

Ln - znany poziom dźwięku odniesienia zmierzony w odległości rn do źródła;

r_x - odległość punktu od źródła hałasu, w którym chcemy wyznaczyć wartość poziomu dźwięku;

r_n - odległość od punktu w którym zmierzono wartość poziomu odniesienia;

K_1 -współczynnik określający charakter źródła (dla źródła punktowego $K_1=2$, dla źródła liniowego $K_1=1$);

K_2 - współczynnik określający redukcję dźwięku przez powierzchnię terenu i zieleń łącznie;

Przybliżone wartości współczynnika K_2 są następujące:

K_2 = 0.9 – teren płaski pokryty asfaltem;

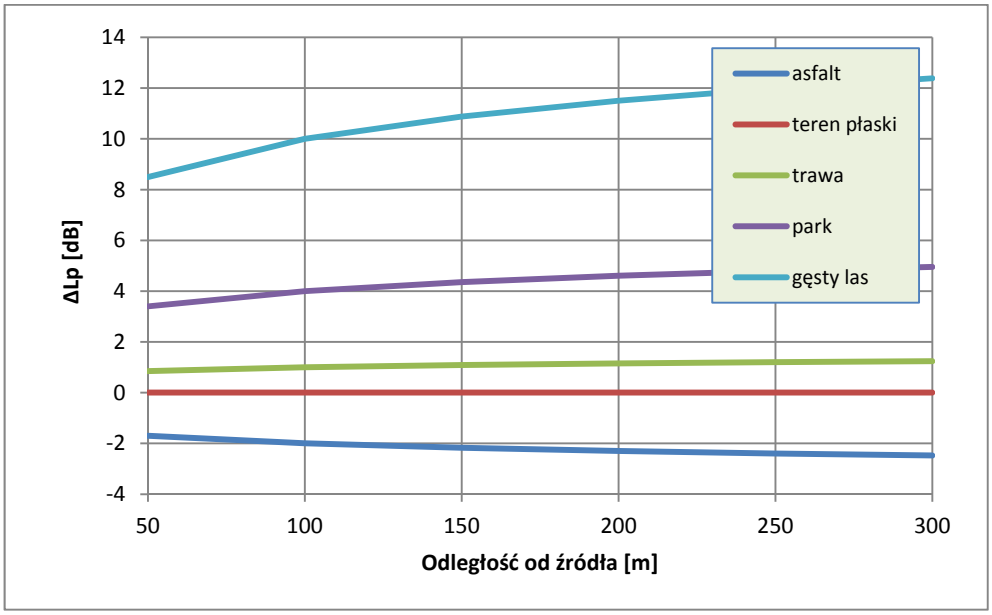
K_2 = 1.0 – teren płaski, grunt;

K_2 = 1.05 – teren płaski pokryty gęstą trawą o wysokości do 0.2 m;

K_2 = 1.10÷1.35 – park gęsto zadrzewiony z poszyciem z krzewów i trawy;

K_2 = 1.5 – leśne pasma ochronne gęsto zadrzewione, z bogatym poszyciem.

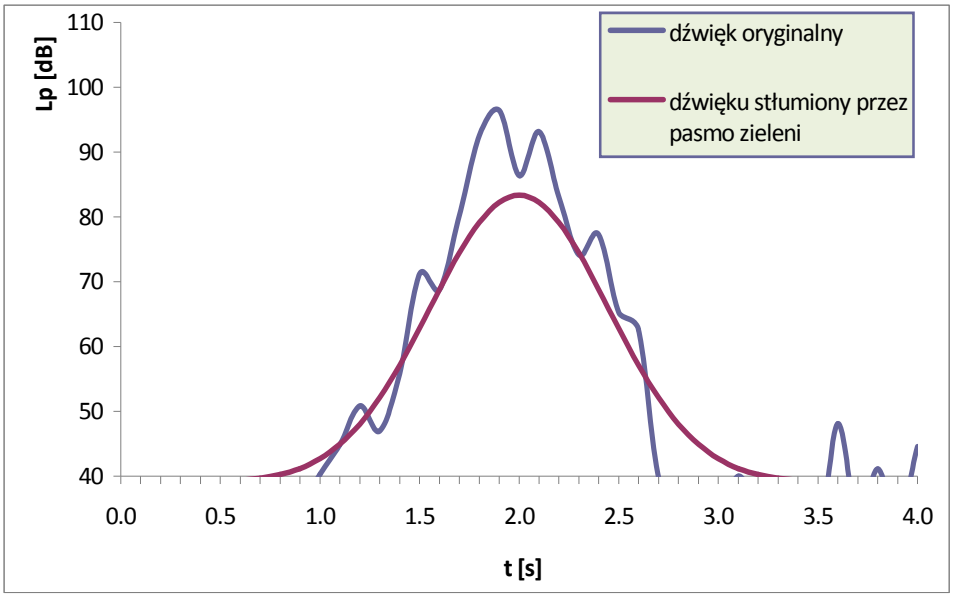
Można przeanalizować powyższy wzór usuwając z niego wpływ odległości na tłumienie hałasu. Na Rysunku 6.6 przedstawiono dodatkowy spadek poziomu dźwięku spowodowany przez pasmo zieleni (po wyeliminowaniu spadku poziomu dźwięku związanego z odległością od źródła).



Rys. 6.6. Tłumienie dźwięków przez pas zieleni wg zależności (6.3)

J. Sadowski i L. Wodziński [8] podają, że wysadzenie pobocza linii tramwajowej dużymi drzewami liściastymi zmniejsza poziom dźwięku fali bezpośredniej emitowanej przez tramwaj o 10 do 15 dB. Podaje również, że umiejętnie zastosowana zieleń pozwala obniżyć poziom dźwięku pochodzącego od ruchu ulicznego o 10 do 15 dB. J. Sadowski podaje, że wartość dodatkowego tłumienia wprowadzanego przez pasmo zieleni waha się od 0.10 do 0.25 dB/m w zależności od rodzaju i konfiguracji zieleni [8]. Tłumienie nie jest jednak proporcjonalne do odległości punktu obserwacji od źródła i maleje wraz z odległością od niego. Szereg węższych pasm zieleni powoduje większe tłumienie niż jedno pasmo tej samej zieleni o łącznej szerokości. Na podstawie tych badań można stwierdzić, że na tłumienie dźwięku przez pasma zieleni największe znaczenie ma pierwsze pasmo o szerokości do 50 m.

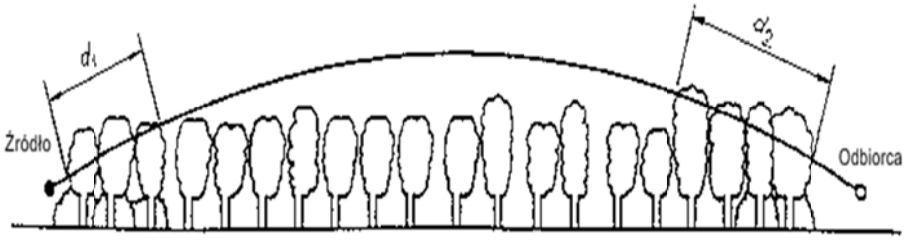
R. Makarewicz w swojej pracy [5] twierdzi, że pasma zieleni opłaca się stosować jedynie wtedy, kiedy przekroczenie normy nie jest większe niż 5 dB. Zamiast budować ekran tradycyjny można zasadzić gęsty żywopłot (np. ze względów estetycznych). Proponuje on, aby sadzonki krzewów lokować w sposób przypadkowy, aby nie było wyraźnych rzędów, a odległości pomiędzy roślinami muszą odpowiadać rozmiarom dorosłego krzewu. Gdy pasmo zieleni stanowią drzewa wraz z gęstymi krzewami, to tłumienie pasma zieleni wynosi ok. 3 dB na każde 30 m szerokości. Ponadto pasmo roślinności nawet o znikomym tłumieniu akustycznym zmienia kształt widma hałasu poprzez rozproszenie i absorpcję wysokich składowych częstotliwościowych. Roślinność zmniejsza także prędkość narastania i spadku poziomu dźwięku, co zmniejsza dokuczliwość hałasu (Rys. 6.7).



Rys. 6.7. Zmiana przebiegu czasowego dźwięku poprzez działanie rozpraszające pasma zieleni

Tłumienie hałasu przez zieleń znajduje także swoje odzwierciedlenie w metodyce obliczeniowej pokazanej w normie PN-ISO 9613-2 [6].

Drzewa i krzewy mają wpływ na tłumienie i propagację hałasu i należy je uwzględniać tylko w przypadku, gdy są tak gęste, że całkowicie przesłaniają widok wzdłuż drogi propagacji tzn., kiedy droga penetracji wzrokowej jest bardzo krótka. Tłumienie może być wprowadzane przez roślinność znajdującą się blisko źródła, blisko punktu odbioru lub w obu tych miejscach, jak przedstawiono na Rysunku 6.8. Drogi d_1 i d_2 mogą być potraktowane, jako linie propagacji opadające pod kątem 15^0 w stosunku do powierzchni. Promień krzywizny jest równy 5 km.



Rys. 6.8. Tłumienie wynikające z propagacji przez listowie na długości d [1]

Tabela 6.1 Tłumienie hałasu wynikające z propagacji na długości d przez gęstą zieleń [6]

Długość drogi propagacji d [m]		Nominalna częstotliwość środkowa pasma [Hz]							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$10 \le d \le 20$	dB	0	0	1	1	1	1	2	3
$20 \le d \le 200$	dB/m	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.12

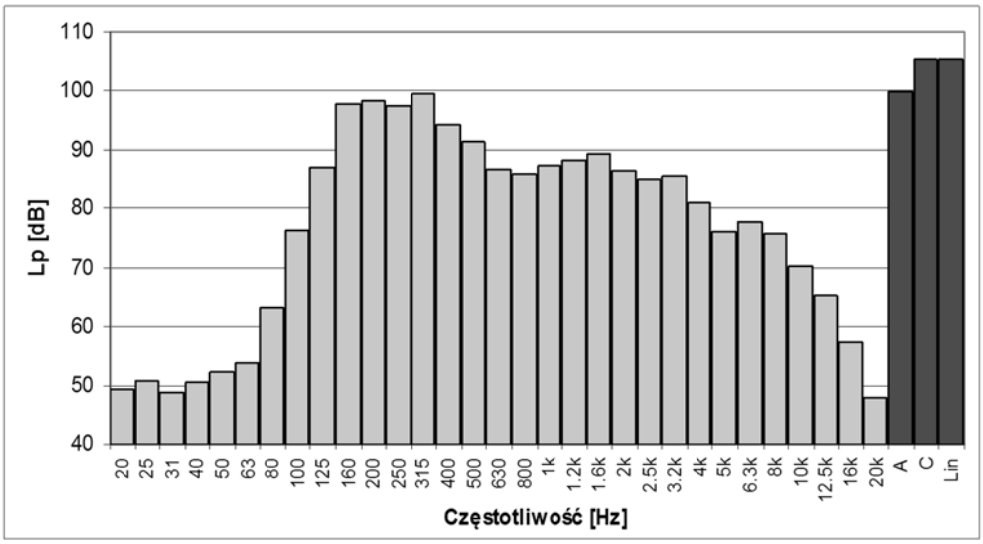
W pierwszym wierszu Tabeli 6.1 podano wartości tłumienia, którego można się spodziewać dla gęstej zieleni, jeżeli długość drogi propagacji przez gęstą zieleń wynosi 10 m ÷ 20 m. W drugim wierszu pokazano wartości tłumienia dla drogi 20 m ÷ 200 m. Dla drogi propagacji ponad 200m zaleca się przyjęcie wartości tłumienia jak dla 200 m [6].

6.2. Badania eksperymentalne wpływu zieleni na propagację dźwięku w przestrzeni otwartej

Badania akustyczne propagacji i tłumienia dźwięku w obecności zieleni wykonano podczas pogodnych bezwietrznych dni w korzystnych warunkach meteorologicznych. Źródłem dźwięków był głośnik wszechkierunkowy przedstawiony na Rysunku 6.9.

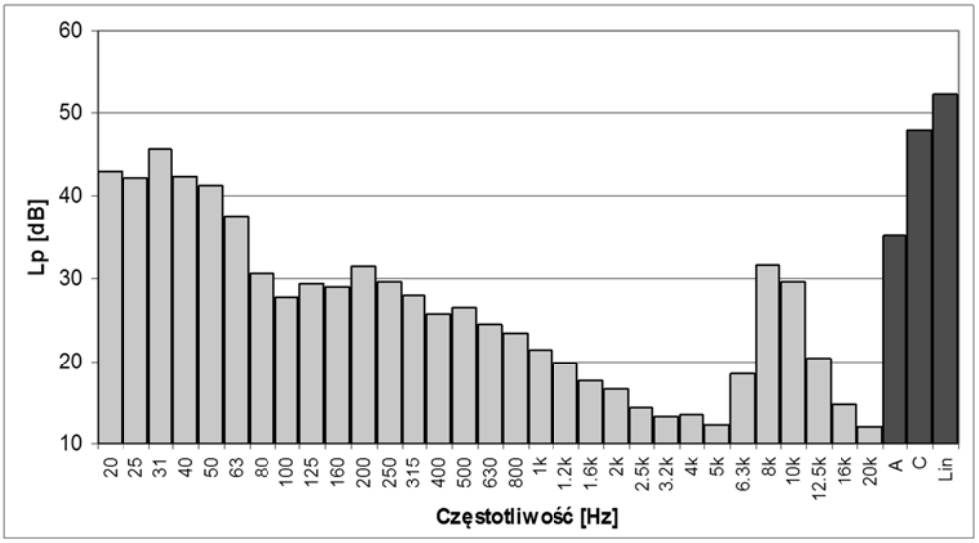
Rys. 6.9. Źródło dźwięku używane do pomiarów akustycznych

Źródło dźwięku było wzbudzane przy pomocy sygnału „różowego szumu”. Sygnał otrzymany ze źródła przedstawiony jest na Rysunku 6.10.



Rys. 6.8. Widmo dźwięku głośnika zmierzone w punkcie kalibracji systemu

Pomiary akustyczne polegały na określeniu spadku poziomu dźwięku generowanego przez sztuczne źródła (szum różowy) w różnego rodzaju terenie. Na wzmacniaczu głośnikowym ustawiano sygnał o stałym poziomie ok. 100 ± 0.2 dB w odległości 1 m od głośnika.



Rys. 6.9. Widmo tła akustycznego zmierzone w trakcie wykonywanych pomiarów

W trakcie wykonywanych pomiarów poziom tła akustycznego wynosił ok. 45 dB i był znacznie niższy niż mierzone wartości sygnału (poniżej 15 dB) – (Rys. 6.11).

Wykonano pomiary tłumienia hałasu przez różnego rodzaju zieleń takie jak:

- Grunt – (Zaorane pole) – Rys. 6.12;
- Niewykoszona łąka – Rys. 6.13;
- Las liściasty – Rys. 6.14;
- Las mieszany rzadki – Rys. 6.15;
- Nieużytki – rys 6.16.

Jako teren odniesienia przyjęto zaorane pole (Rys. 6.12). Pomiary wykonywano w punktach o podwojonych odległościach od źródła 30, 60 i 120m.

Rys. 6.10. Pomiary tłumienia dźwięku przez grunt (zaorane pole)

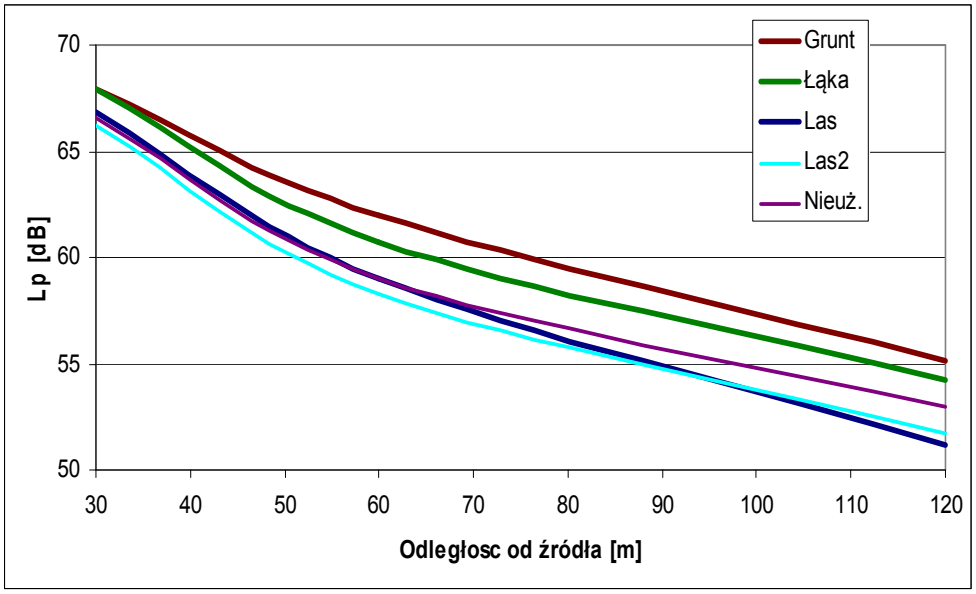
Rys. 6.11. Pomiary tłumienia dźwięku przez nieskoszoną wilgotną łąkę

Rys. 6.12. Pomiary tłumienia dźwięku przez las liściasty

Rys. 6.13. Pomiary tłumienia dźwięku przez rzadki las mieszany

Rys. 6.14. Pomiary tłumienia dźwięku przez pasmo nieużytków

Na Rysunku 6.17 przedstawiono spadek poziomu dźwięku A w funkcji odległości od sztucznego źródła dźwięku dla badanych rodzajów terenu.



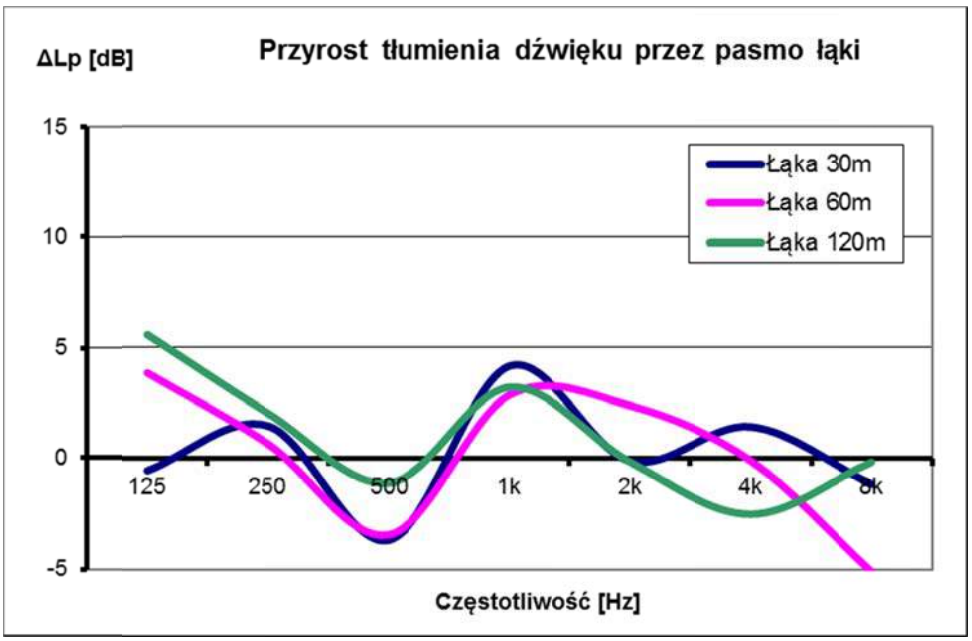
Rys. 6.15. Spadek poziomu dźwięku A w zależności od odległości od źródła

Pomijając teoretyczny wpływ odległości na spadek poziomu dźwięku A metodą regresji oszacowano współczynnik tłumienia dźwięku przez zieleń. Wyniki obliczeń przedstawiono Tabeli 6.2.

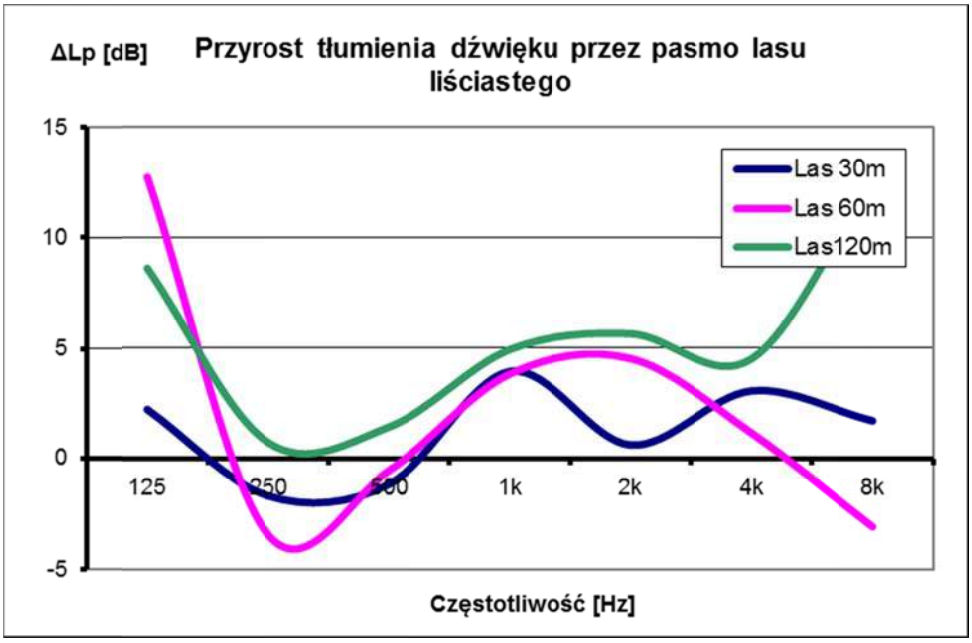
Tabela 6.2 Wpływ rodzaju zieleni na tłumienie dźwięku A w środowisku

Odległość od źródła [m]	Rodzaj terenu				
	Grunt (zaorane pole)	Mokra nieskoszona łąka	Las liściasty	Rzadki las mieszany	Nieużytki
30	2.5	2.6	3.6	4.2	3.9
60	2.4	3.7	5.4	6.2	5.4
120	3.3	4.2	7.3	6.7	5.5
Tłumienie pasa zieleni dB/100m	0.99	1.63	3.97	2.52	1.49

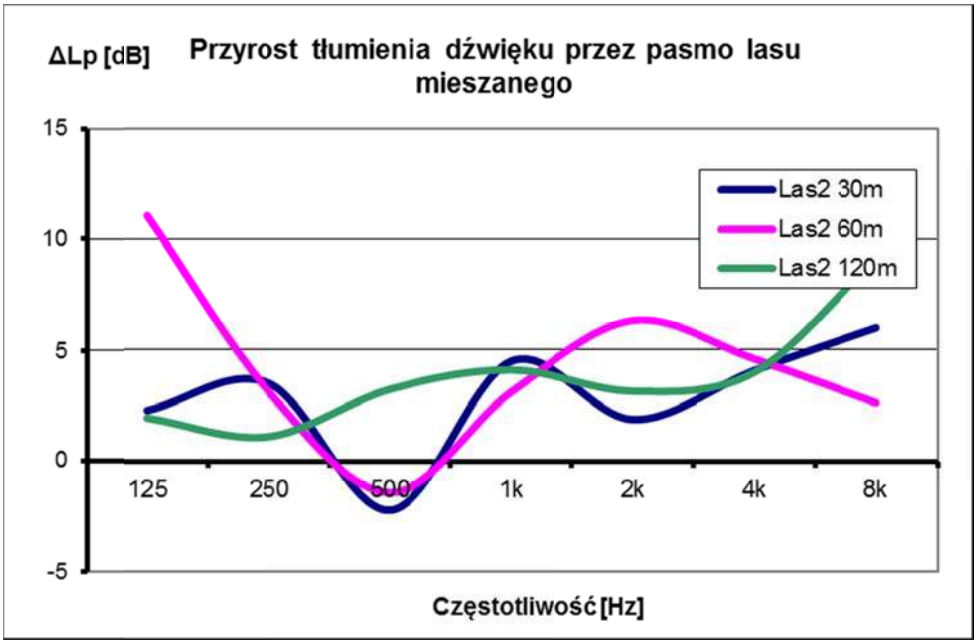
Na Rysunkach 6.18 ÷ 6.21 przedstawiony przyrost tłumienia poszczególnych rodzajów terenu odniesiony do gruntu (zaoranego pola) w pasmach oktawowych.



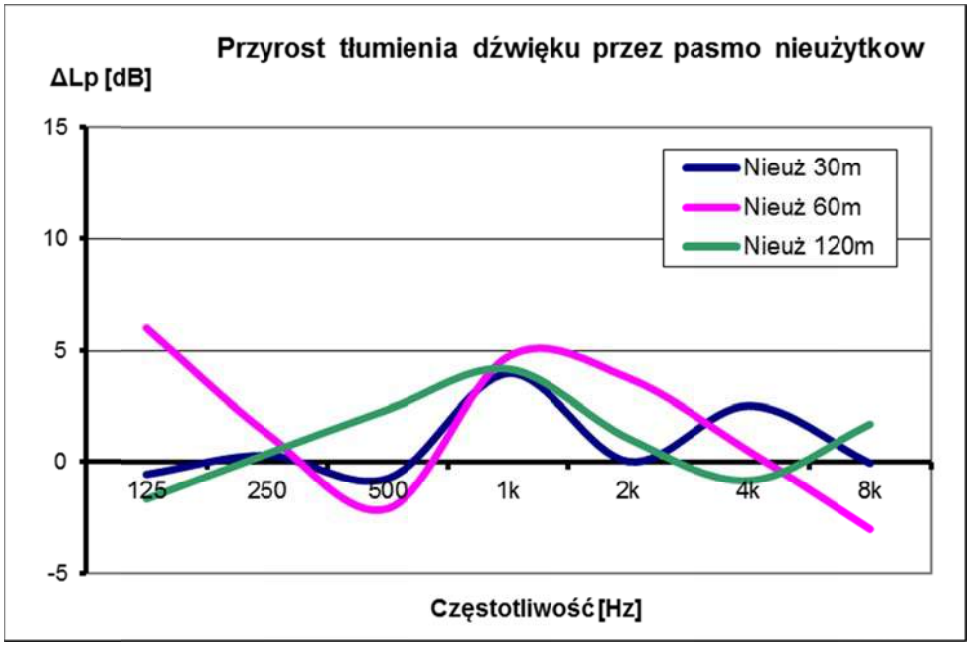
Rys. 6.16. Przyrost tłumienia w stosunku do gruntu (zaorane pole) dla pasma łąki



Rys. 6.17. Przyrost tłumienia w stosunku do gruntu (zaorane pole) dla lasu liściastego



Rys. 6.18. Przyrost tłumienia w stosunku do gruntu (zaorane pole) dla rzadkiego lasu mieszanego



Rys. 6.19. Przyrost tłumienia w stosunku do gruntu (zaorane pole) dla pasma nieużytków

6.3. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zieleń znajdująca się na drodze propagacji fali akustycznej znacznie i w różnoraki sposób oddziałuje na tę falę. Oprócz zjawiska tłumienia przez zieleń występuje także zjawisko dyfrakcji i interferencji fal dźwiękowych. Być może przyjęty rodzaj gruntu odniesienia (zaorane pole) nie jest dobrym rozwiązaniem. Gdyby oddziaływania odnieść do placu o wybetonowanej powierzchni w częstotliwości 500 Hz nie pojawiały by się minima przyrostu tłumienia, jednak podobne wyniki w trakcie swoich pomiarów (minima tłumienia dla 500 Hz) uzyskał także J. G. Migneron (Rys.6.3). Na propagację dźwięku poprzez pasy zieleni ma ponadto znaczny wpływ stan ulistnienia drzew i wilgotność samego terenu (zieleń bardziej bujna lub przyschnięta).

Literatura

[1] Engel Z., *Ochrona środowiska pracy przed drganiami i hałasem*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993

[2] Gradkowski K., *Redukcja hałasu od środków lokomocji*, Przegląd komunikacyjny 7-8/2010

[3] Habrat T., *Zieleń jako element ekranujący*, Instytut Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.

[4] Lebiedowska B., *Wpływ zieleni na ograniczanie rozprzestrzeniania się hałasu w terenie otwartym,* Higiena Pracy, Wyd. Instytut Medycyny Pracy, 4/97, s. 57.

[5] Makarewicz R., *Hałas w środowisku*, Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań 1996

[6] PN-ISO 9613-2: 2002 - wersja polska. (2002). Akustyka - Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej - Ogólna metoda obliczania.

[7] Rosłon-Szeryńska E., *Zieleń przy drogach i ulicach, Katedra Architektury Krajobrazu*, SGGW;

[8] Sadowski J., *Podstawy akustyki urbanistycznej*, Arkady, Warszawa 1982,

[9] Sadowski J.,Wodziński L., *Akustyka miasta*, Architektura, z. 12, 1955.

[10] Szopińska E., Zygmunt-Rubaszek J., *Propozycje standardów w zakresie kształtowania zieleni wysokiej miejskich tras komunikacyjnych na przykładzie Wrocławia*, Wrocław 2010.

7. Infradźwięki w środowisku

7.1. Wprowadzenie

Środowisko naturalne, a w szczególności środowisko akustyczne (soundscape), które jest tematem niniejszej monografii, powinno zapewniać w miarę jednolite, korzystne i sprzyjające warunki dla żyjących tam zwierząt.

Aktualnie, wraz z rozwojem szybkich dróg czy autostrad, człowiek generuje coraz więcej hałasu o coraz wyższych poziomach ciśnienia akustycznego, w szczególności dotyczy to infradźwięków czyli dźwięków o częstotliwościach poniżej 20 Hz, które oddziaływają zarówno na człowieka, jak i na inne istoty żywe.

Badania wykazały, że infradźwięki i fale akustyczne niskiej częstotliwości do 50 Hz o poziomach słyszalnych i zbliżonych do poziomu percepcji, mogą powodować szereg różnorakich zmian psychologicznych, w poziome aktywacji, czy zmian czynności bioelektrycznej, różnego rodzaju niespecyficznych reakcji stresowych, przesunięcia progu słuchu, zaburzeń snu [1-7]. Możliwe jest występowanie zjawiska rezonansu struktur i narządów wewnętrznych organizmu, subiektywnie odczuwalne jako uczucie wewnętrznego wibrowania. Wszystkie te zjawiska są odbierane i opisywane przez odbiorców w sposób subiektywny i zależny od wrażliwości osobniczej. Podkreślić należy, że wszystkie żywe stworzenia narażone są na oddziaływanie infradźwięków występujących w jego otoczeniu, niezależnie od miejsca jego bytowania i aktywności życiowej. Do chwili obecnej nie ma jednoznacznych wiarygodnych badań wskazujących na szkodliwość występujących w środowisku o niskich poziomach ciśnienia akustycznego naturalnych źródeł infradźwięków. Stwierdzono natomiast, że dopiero narażanie na bardzo wysoki poziom takiego typu hałasu może być niekorzystny.

Efekty, które są związane z oddziaływaniem infradźwięków oraz w pewnym zakresie dźwięków słyszalnych, w szczególności fal akustycznych o niskiej częstotliwości, nasilają się wraz ze wzrostem poziomu ciśnienia akustycznego. W środowisku naturalnym infradźwięki nie występują normalnie na takich poziomach ciśnienia akustycznego i pojawiają się jedynie sporadycznie. Podczas naturalnych katastrof, wiele zwierząt instynktownie reaguje na odchylenia od normalnego spektrum akustycznego, w szczególności w zakresie niskich częstotliwości, walką lub ucieczką. Tego typu zachowania były obserwowane w związku z trzęsieniami ziemi oraz występowaniem tsunami, np. na Oceanie Indyjskim [8].

Adaptacja istot żywych do ich środowiska naturalnego sugeruje, że naturalne spektrum akustyczne zapewnia optymalne warunki do życia. Słuch, czy szerzej percepcja fal akustycznych i ich przetwarzanie, jest niezbędny do przeżycia zarówno człowieka, jak i zwierząt. Naturalne tło akustyczne w środowisku powinno nie powodować powstawania dodatkowych zagrożeń. Wydaje się, że istoty żywe potrzebują określonych składowych jakościowych i ilościowych dźwięku w otaczającym ich środowisku, aby zachować pełnię zdrowia.

Dotychczas główny nacisk oddziaływania niekorzystnego fal akustycznych był kładziony na wpływ fal akustycznych niskiej częstotliwości z zakresu słyszalnego. Wynika to prawdopodobnie po części z tego, że poziom percepcji fal akustycznych przez człowieka rośnie wraz ze zmniejszaniem się częstotliwości bodźca akustycznego. Dźwięk o częstotliwości 50 Hz słyszymy już przy poziomie ciśnienia akustycznego 44 dB, 20 Hz usłyszymy przy poziomie ciśnienia akustycznego 79 dB. Natomiast abyśmy mogli "usłyszeć" falę akustyczną o częstotliwości 4 Hz, poziom ciśnienia akustycznego powinien wynosić około 107 dB [9].

Jednym z aspektów propagacji dźwięków na terenach zalesionych jest propagacja infradźwięków i fal akustycznych niskiej częstotliwości. Należy zaznaczyć, iż wbrew obiegowej opinii, mówiącej, że infradźwięki są niesłyszalne przez człowieka, przy odpowiednio wysokich poziomach ciśnienia akustycznego fale akustyczne o częstotliwości nawet kilkunastu Hz mogą być słyszalne. Cechą charakterystyczną tych fal, ze względu na ich długość, jest ich słabe tłumienie w atmosferze i w zależności od częstotliwości mogą propagować się na odległości setek kilometrów.

Infradźwięki przeważnie występują jako składowa tła akustycznego. Źródła infradźwięków możemy podzielić na pochodzenia naturalnego i antropogeniczne, czyli wytworzonego w głównej mierze przez działalność techniczną człowieka. Najważniejsze naturalne źródła infradźwięków to przede wszystkim wybuchy wulkanów, wyładowania atmosferyczne, ruchy mas powietrza (wiatr), przepływające rzeki i wodospady. Dominującymi źródłami antropogenicznymi infradźwięków są przede wszystkim: maszyny przepływowe niskoobrotowe (sprężarki, wentylatory, silniki), urządzenia energetyczne (młyny, kotły, kominy), piece hutnicze, piece elektryczne łukowe, urządzenia odlewnicze, środki transportu, farmy wiatrowe. Infradźwięki są też generowane przez nieliczne gatunki zwierząt celem komunikowania się na odległość wielu kilometrów np.: słonie, żyrafy, okapi wieloryby i aligatory [10, 11].

Efekty oddziaływania infradźwięków są szczególnie istotne z powodu wielorakich rodzajów źródeł ich powstawania, efektywności propagacji oraz trudności w skutecznej ochronie przed ich oddziaływaniem (ekrany akustyczne, ściany, ochronniki słuchu) w porównaniu z dźwiękami słyszalnymi. Pojawiają się istotne trudności, ponieważ infradźwięki propagują się w powietrzu efektywniej niż fale akustyczne o wyższych częstotliwościach. Istnieją zasadnicze czynniki, które wpływają na poziom redukcji poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji odległości od źródła dźwięku.

- Efekt podłoża – jeżeli fala akustyczna przemieszcza się w powietrzu blisko ziemi, część energii jest pochłaniana przez poszycie gruntu. Ilość energii absorbowanej przez podłoże zależy od wielu czynników, np.: wysokość od gruntu, na którym następuje propagacja fali akustycznej, składowych częstotliwościowych, rodzaju pokrycia gruntu (drzewa, wysoka trawa, ubita ziemia itp.).
- Absorbcja molekularna – występuje interakcja cząstek powietrza w trakcie propagacji fali akustycznej i część energii zostaje rozproszona przez te interakcje. Efekt absorpcji molekularnej zależy bezpośrednio od częstotliwości składowych fali akustycznej. Efekt ten jest większy dla wyższych częstotliwości.

Gdy fala akustyczna na drodze propagacji natrafi na przeszkodę, na przykład na ekran akustyczny, ilość energii, która przejdzie przez przeszkodę zależy od częstotliwości dźwięku. Dla danej przeszkody infradźwięki, czy też fale akustyczne niskiej częstotliwości, przenikają przez nią z większą efektywnością niż fale akustyczne o wyższych częstotliwościach, z tego wynika, że propagacja infradźwięków jest trudna do powstrzymania [12]. Tłumienie wynika przede wszystkim z propagacji takiej fali w atmosferze. Wraz ze wzro-

stem częstotliwości fale akustyczne są coraz silnej pochłaniane przez powietrze. Przykładowo dla częstotliwości 4000 Hz pochłanianie wynosi 70 dB/km, dla częstotliwości 1000 Hz 10 dB/km, natomiast dla częstotliwości 10 Hz pochłanianie wynosi 0,1 dB/km. Wynika z tego, że infradźwięki mogą rozprzestrzeniać się na duże odległości od źródła, nawet do tysięcy kilometrów. Ze względu na słabe tłumienie, długość fali i możliwości wytwarzania fali stojącej czy wywoływanie rezonansu ekrany akustyczne i inne tradycyjne przeszkody są praktycznie nieskuteczne, a lokalizacja źródła infradźwięków jest trudna.

Wartości uzyskane z pomiarów infradźwięków mają praktyczne zastosowanie do zdalnego monitorowania np. prób jądrowych czy wybuchów wulkanów. W zakresie lokalnym występowanie lasów wpływa na propagację fali infradźwiękowej. Ponieważ długość fali infradźwiękowej są dużo większe niż wymiary pojedynczych komponentów (drzew), las najczęściej jest modelowany jako materiał porowaty. Taki model jest rozwijany w fazie początkowej z modelem relaksacyjnym materiałów porowatych. Następnie metodą Crank-Nicholson jest określany rzeczywisty wpływ fizycznych parametrów lasu (powierzchni, wysokości), występowania otwartych przestrzeni oraz czynników meteorologicznych na zdolność propagacji fali infradźwiękowej. Badania wykazały, że ciągłe obsary lasu mogą powodować obniżenie dźwięku dla częstotliwości poniżej 25 Hz i dodatkowe tłumienie w zakresie częstotliwości od 25-50 Hz [13].

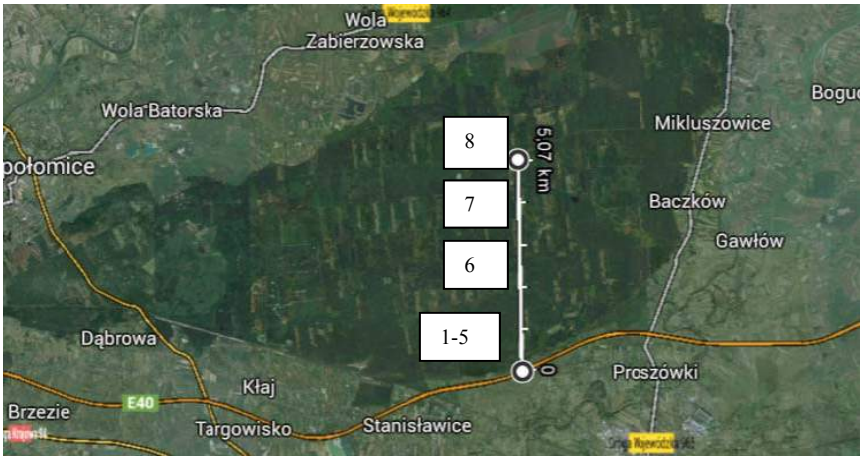
W badaniach [14] przedstawiono generalne właściwości klimatu akustycznego w środowisku leśnym. Autorzy przeprowadzili terenowe badania pomiarowe w czterech porach roku na trzech głównych obszarach górskich w Korei. Uzyskane wyniki wykazały, że istnieją wyraźne różnice w parametrach akustycznych, w zależności od środowiska i pory roku. Jako elementy akustyczne w lesie wyróżniono dźwięki przepływającej wody wodospadów i strumieni oraz odgłosy ptaków i owadów. Dźwięki były dodatkowo modyfikowane zimą przez leżący śnieg lub jesienią przez opadłe liście, co również może mieć wpływ na klimat akustyczny. Poziom ciśnienia akustycznego dźwięków lasu był o około 20 dB (A) niższy od typowych dźwięków występujących w centrum miasta, a dźwięki lasu charakteryzowały się płaskim widmem częstotliwości.

W Polsce standardy jakości klimatu akustycznego w środowisku są uregulowane w stosunku do charakterystyki częstotliwościowej A, czyli dotyczą one dźwięków słyszalnych. W odniesieniu do fal akustycznych z zakresu infradźwiękowego nie istnieją kryteria określające poziomy dopuszczalne hałasu infradźwiękowego w środowisku. Jedynie dopuszczalne poziomy hałasu w zakresie infradźwięków są zawarte w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej, gdzie równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G odniesioną do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub tygodnia pracy. W przypadku hałasu infradźwiękowego istnieją już regulacje prawne miedzy innymi w Danii, Niemczech, Anglii czy Szwecji. Kryteria te w głównej mierze są oparte na progach słyszenia infradźwięków, czyli dopuszczalne poziomy infradźwięków nie powinny przekraczać progów słyszenia.

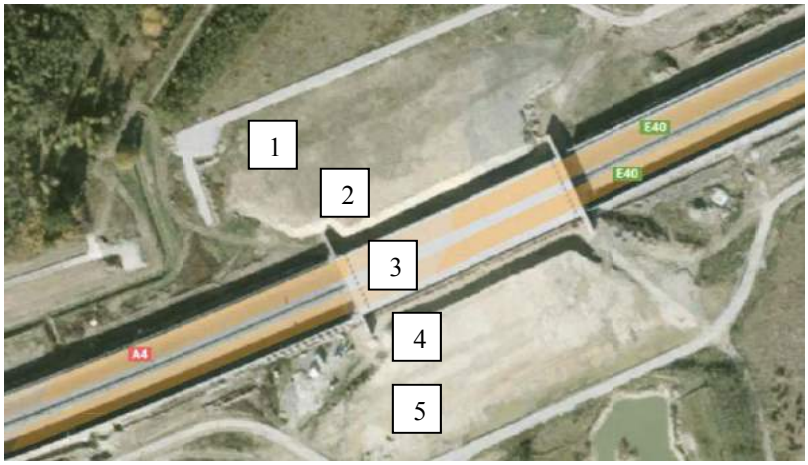
W niniejszym rozdziale przedstawiono cechy charakterystyczne środowiska akustycznego w zakresie infradźwiękowym na przykładzie danych pomiarowych uzyskanych w badaniach terenowych w Puszczy Niepołomickiej.

7.2. Badania infradźwięków

W ramach prowadzonych prac związanych z oceną klimatu akustycznego Puszczy Niepołomickiej wykonano pomiary terenowe infradźwięków, pochodzących od pojazdów poruszających się po autostradzie A4. Badania wykonywano w okolicach górnego przejścia dla zwierząt (tzw. przejścia krajobrazowego) oraz w samej Puszczy, w odległościach około 2000 m, 3000 m i 5000 m od autostrady (usytuowanie punktów pomiarowych przedstawiono na Rysunku 7.2). Pomiary na przejściu dla zwierząt (punkty od 1 do 5) wykonano na wysokości 4 m nad poziomem terenu, bezpośrednio przy autostradzie na zielonym moście. Punkty 6, 7 i 8 znajdowały się odpowiednio w odległościach około 2000 m, 3000 m i 5000 m (rysunek 7.1). W tych punktach wykonano pomiary na wysokościach 1,5 m oraz 0,5m n.p.t.



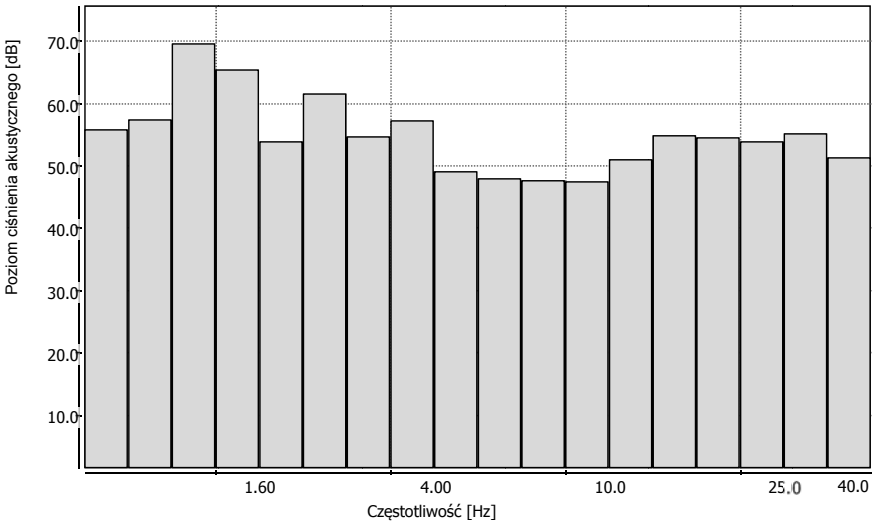
Rys. 7.1. Punkty pomiarowe



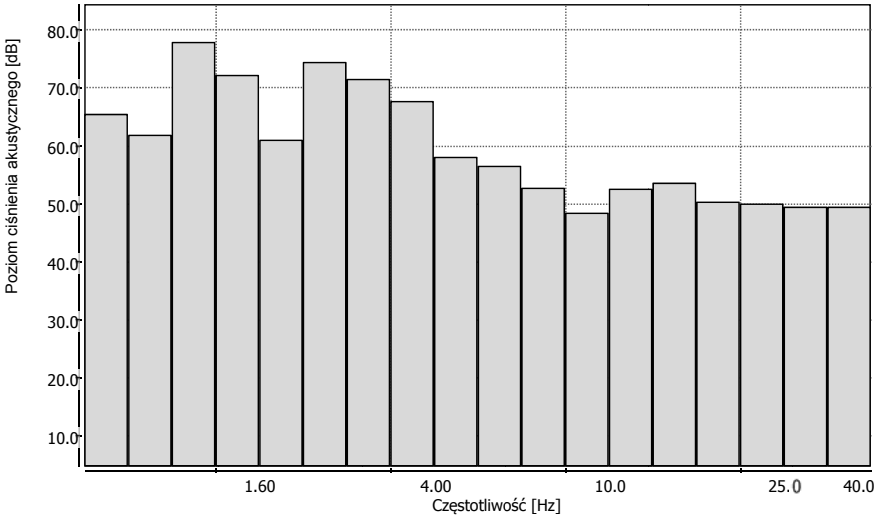
Rys. 7.2. Punkty pomiarowe

7.3. Analizy klimatu infradźwiękowego

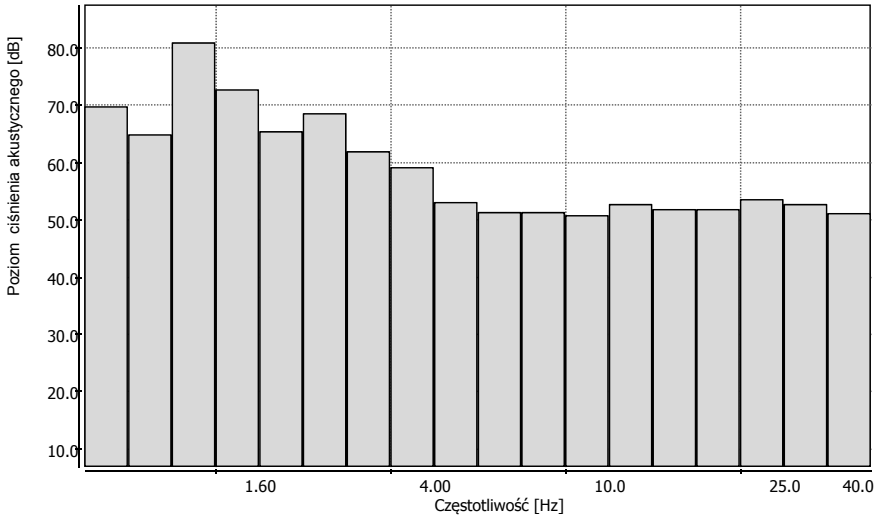
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów akustycznych określono aktualny stan klimatu infradźwiękowego w środowisku. Na rysunkach od Rys.7.3 do Rys.7.7 przedstawiono widma 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, zmierzone w bezpośrednim sąsiedztwie autostrady oraz na przejściu dla zwierząt.



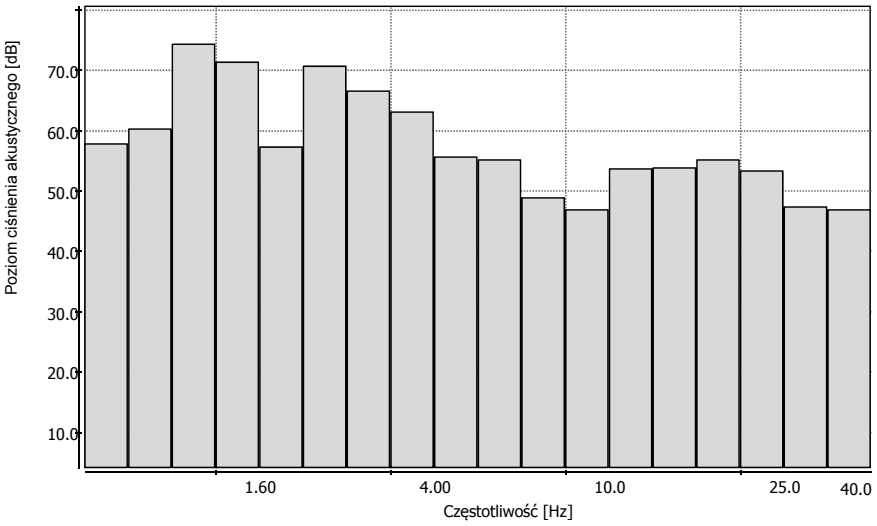
Rys. 7.3. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 1. Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm 1/3 oktawowych [Hz], na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]



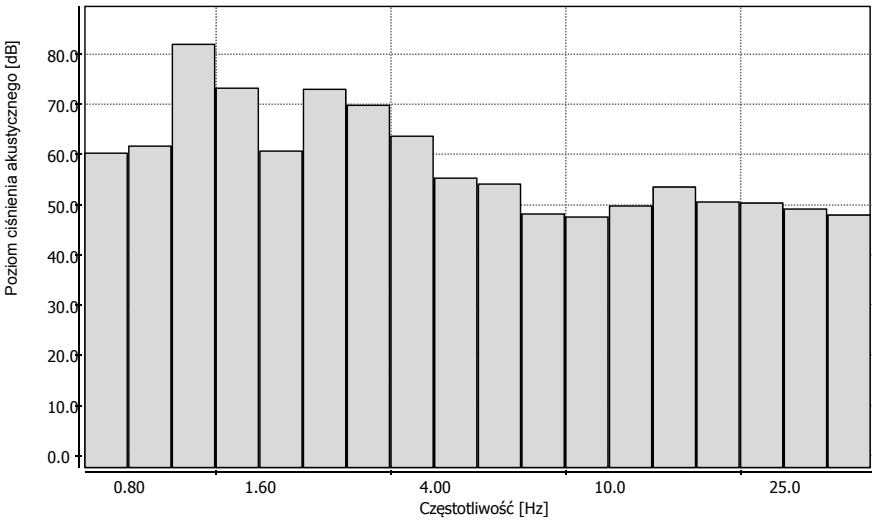
Rys. 7.4. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 2. Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm [Hz], na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]



Rys. 7.5. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 3.
Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm [Hz],
na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]



Rys. 7.6. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 4.
Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm [Hz],
na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]



Rys. 7.7. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 5. Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm [Hz], na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]

Przeprowadzone analizy wykazały, że największy poziom ciśnienia akustycznego w zakresie infradźwiękowym zarejestrowano na stanowisku pomiarowym nr 3, bezpośrednio nad osią autostrady. Średnie różnice poziomów ciśnienia akustycznego w porównaniu z punktami pomiarowymi oddalonymi od osi autostrady wynosiły około 4 dB.

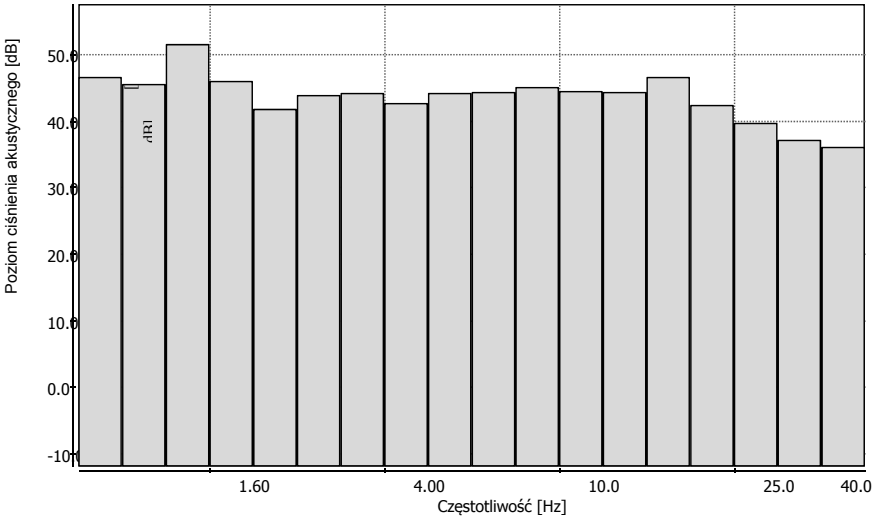
W Tabeli 7.1 zamieszczono zbiorcze zestawienie uzyskanych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3 oktawowych. W pierwszej kolumnie zamieszczono analizowane punkty pomiarowe, w kolejnych zmierzone wartości poziomu ciśnienia akustycznego [dB] w przedziale o odpowiadającej częstotliwości środkowej [Hz] (drugi wiersz).

Tabela 7.1
Wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego w pięciu punktach pomiarowych w okolicy górnego przejścia dla zwierząt

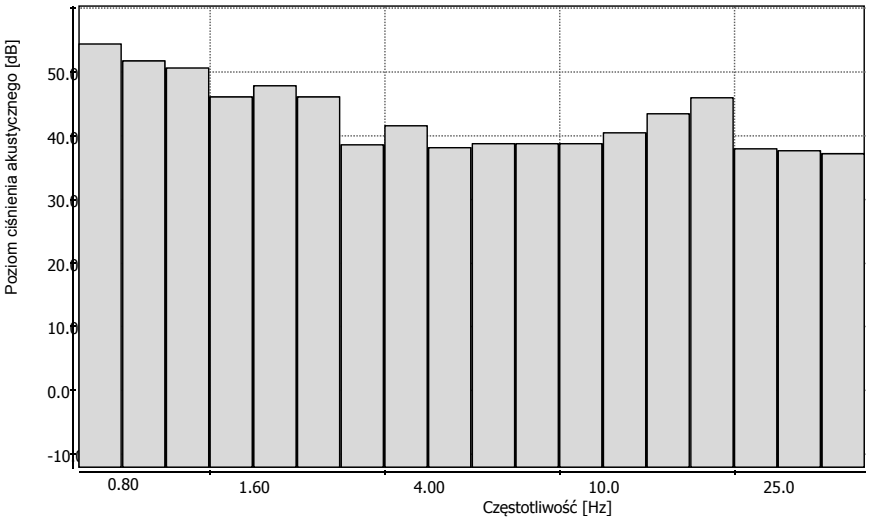
	Częstotliwość środkowa pasm 1/3 oktawowych [Hz]															
	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0
P1 [dB]	55,7	57,3	69,5	65,4	53,8	61,5	54,6	57,2	49,1	47,9	47,6	47,5	51,0	54,8	54,4	53,8
P2 [dB]	65,4	61,8	77,8	72,2	61,0	74,3	71,5	67,7	58,0	56,4	52,7	48,4	52,5	53,6	50,2	50,0
P3 [dB]	69,7	64,9	80,8	72,7	65,3	68,5	61,8	59,0	52,9	51,3	51,3	50,7	52,6	51,8	51,7	53,5
P4 [dB]	57,8	60,3	74,3	71,3	57,2	70,7	66,6	63,0	55,7	55,1	48,9	46,8	53,6	53,8	55,2	53,3
P5 [dB]	60,2	61,7	81,9	73,2	60,6	73,0	69,9	63,7	55,3	54,0	48,2	47,5	49,7	53,4	50,5	50,4

Stwierdzono, że poziomy ciśnienia akustycznego dla częstotliwości środkowej od 5 do 25 Hz wynoszą od 49,1 do 58 dB. Dla częstotliwości poniżej 5 Hz obserwowane poziomy ciśnienia akustycznego wynoszą do 81,9 dB.

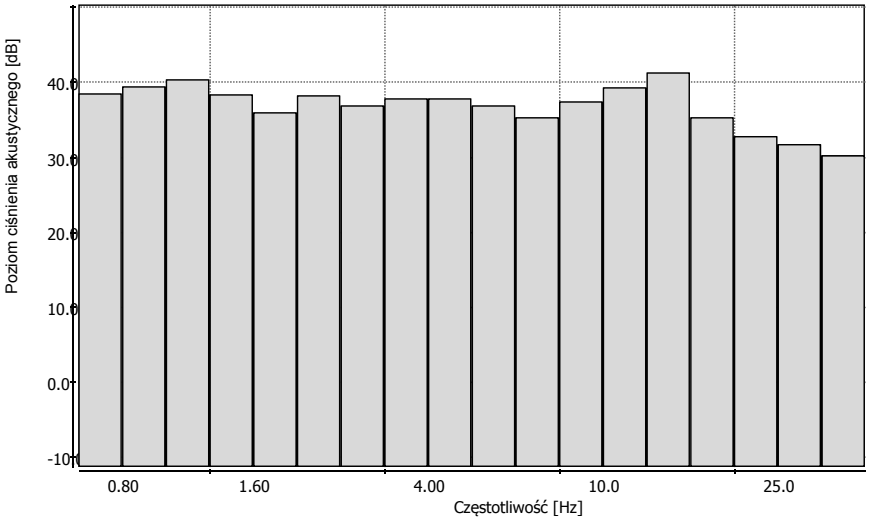
W kolejny etapie badań zbadano poziom ciśnienia akustycznego w zakresie infradźwiękowym na obszarze Puszczy. Na rysunkach 7.8 do 7.10 zamieszczono wyniki uzyskane w punktach pomiarowych 6, 7 i 8 (punkty w środku Puszczy) na wysokości 0,5 metra nad poziomem gruntu.



Rys. 7.8. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 6. Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm [Hz], na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]



Rys. 7.9. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 7. Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm [Hz], na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]



Rys. 7.10. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 8. Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm [Hz], na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]

Stwierdzono, że wraz z zwiększaniem odległości od autostrady następuje zmniejszenie poziomu ciśnienia akustycznego w zakresie infradźwiękowym.

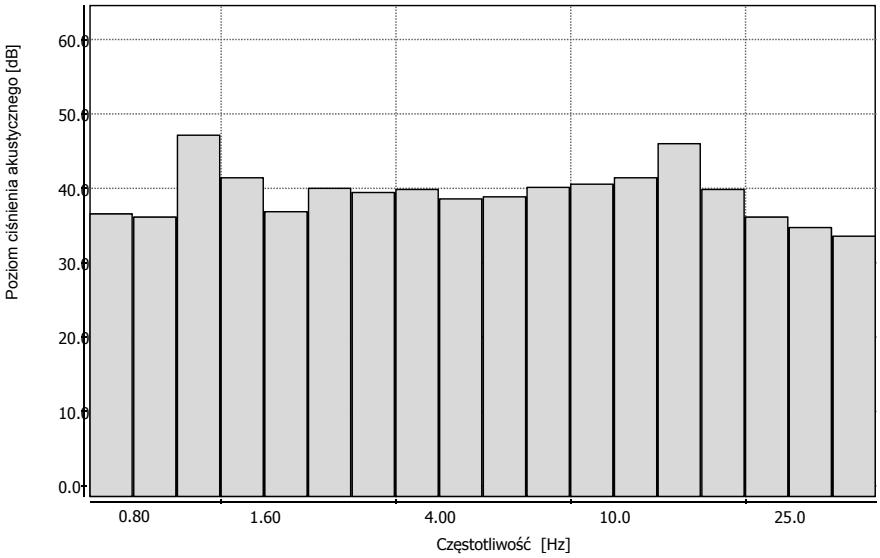
W Tabeli 7.2 zamieszczono zbiorcze zestawienie uzyskanych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3 oktawowych. W pierwszej kolumnie zamieszczono oznaczenie analizowanego punktu pomiarowego, w kolejnych zmierzone wartości poziomu ciśnienia akustycznego w przedziale o odpowiadającej częstotliwości środkowej.

Tabela 7.2
Zmierzone poziomy ciśnienia akustycznego w pięciu punktach pomiarowych, w przedziałach częstotliwościowych

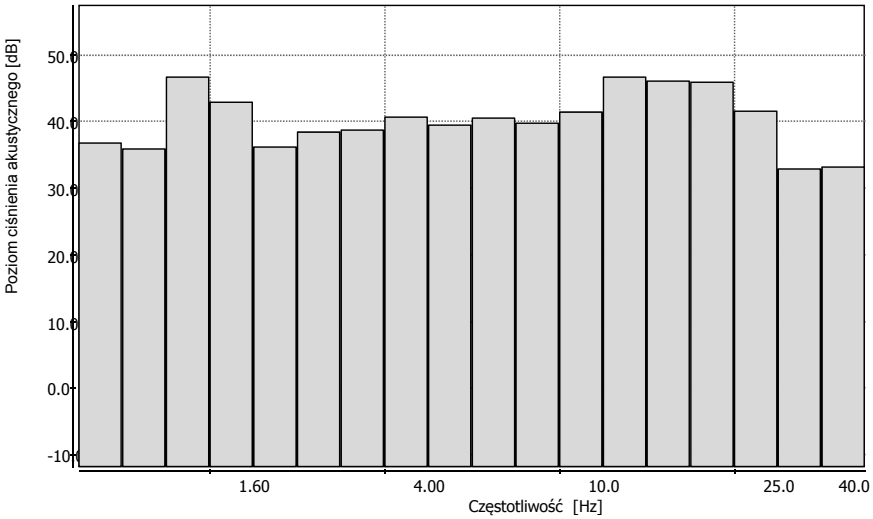
	Częstotliwość środkowa pasm 1/3 oktawowych [Hz]															
	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0
P6 [dB]	46,5	45,5	51,5	46,0	41,7	43,8	44,2	42,7	44,2	44,3	45,0	44,4	44,3	46,5	42,3	39,7
P7 [dB]	54,4	51,7	50,7	46,1	47,9	46,1	38,6	41,5	38,2	38,8	38,8	38,8	40,4	43,4	45,9	38,0
P8 [dB]	38,4	39,4	40,3	38,3	35,9	38,2	36,9	37,8	37,8	36,8	35,2	37,4	39,3	41,2	35,3	32,7

Uzyskane wyniki pomiarów infradźwięków w 3 punktach pomiarowych na obszarze Puszczy na wysokości 0,5 m nad poziomem gruntu, pozwoliły na stwierdzenie, że w zakresie od 5 do 25Hz poziom ciśnienia akustycznego wynosi od 32,7 do 46,5 dB. Dla częstotliwości poniżej 5 Hz od 35,9 do 54,4 dB. Można zaobserwować tendencję, że wraz ze wzrostem odległości od autostrady maleje poziom ciśnienia akustycznego.

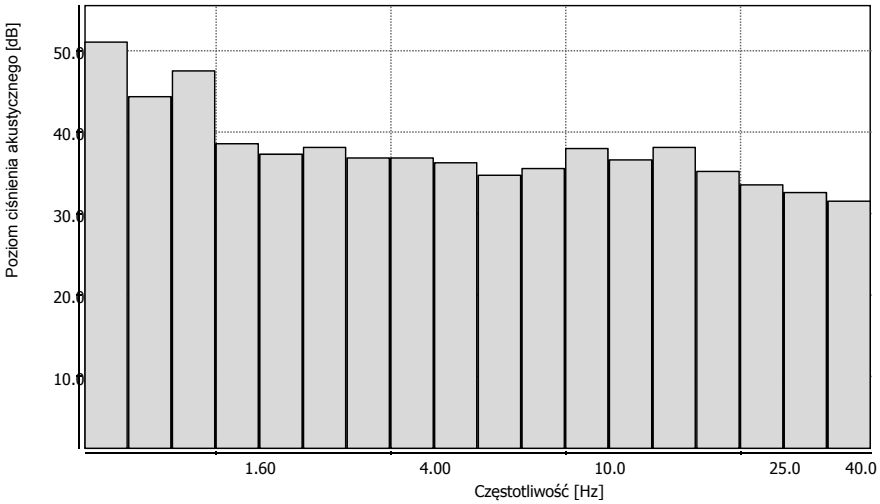
Na wykresach od Rys.7.11 do Rys.7.13 zamieszczono wyniki uzyskane w punktach pomiarowych 6, 7 i 8 na wysokości 1,2 m nad poziomem gruntu.



Rys. 7.11. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 6.
Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm [Hz],
na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]



Rys. 7.12. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 7.
Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm [Hz],
na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]



Rys. 7.13. Widmo 1/3 oktawowe w zakresie infradźwiękowym, punkt pomiarowy 8. Na osi poziomej zamieszczono częstotliwości środkowe pasm [Hz], na osi pionowej poziom ciśnienia akustycznego [dB]

W Tabeli 7.3 zamieszczono zbiorcze zestawienie uzyskanych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3 oktawowych. W pierwszej kolumnie zamieszczono analizowany punkt pomiarowy, w kolejnych zmierzone wartości poziomu ciśnienia akustycznego w przedziale o odpowiadającej częstotliwości środkowej.

Tabela 7.3
Zmierzone wartości poziomu ciśnienia akustycznego w pięciu punktach pomiarowych, w przedziałach częstotliwościowych

	Częstotliwość środkowa pasm 1/3 oktawowych [Hz]															
	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0
P6 [dB]	36,5	36,2	47,2	41,4	36,8	40,0	39,4	39,9	38,5	38,8	40,2	40,6	41,4	46,0	39,8	36,2
P7 [dB]	36,7	35,9	46,7	42,9	36,1	38,4	38,7	40,6	39,4	40,5	39,8	41,4	46,6	46,0	45,9	41,5
P8 [dB]	51,0	44,3	47,5	38,5	37,2	38,1	36,8	36,8	36,2	34,7	35,5	38,0	36,6	38,1	35,1	33,5

Przeprowadzone pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w zakresie infradźwiękowym na terenie Puszczy na wysokości 1,5 m nad poziomem gruntu pozwoliły na stwierdzenie, że w całym zakresie dominują poziomy od 33,5 do 47,2 dB.

7.4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania terenowe pozwoliły na poznanie tła akustycznego w zakresie infradźwiękowym w Puszczy Niepołomickiej. Przeprowadzone pomiary przy autostradzie, na przejściu dla zwierząt wykazały, że najwyższe poziomy ciśnienia akustycznego zaobserwowano dla częstotliwości środkowej 1,25 Hz wynoszący pond 80 dB. Dla częstotliwości powyżej 5 Hz poziom ciśnienia akustycznego kształtuje się w zakresie od 48 dB do 55 dB.

Badania przeprowadzone na terenie zalesionym w Puszczy Niepołomickiej odpowiednio w odległościach 2000, 3000 i 5000 m od autostrady wykazały poziomy ciśnienia akustycznego średnio niższe o 25 do 30 dB dla częstotliwości do 5 Hz. Natomiast dla wyższych częstotliwości od 5 do 20 Hz średnio niższe o 10 do 15 dB.

Niekorzystne efekty oddziaływania infradźwięków na organizmy żywe według danych literaturowych pojawiają się dopiero przy wyższych poziomach ciśnienia akustycznego, które normalnie w środowisku naturalnym nie występują i jedynie mogą pojawiać się czasowo. Ma to miejsce np. podczas naturalnych klęsk żywiołowych, wiele zwierząt instynktownie reaguje na odchylenia od normalnego widma w zakresie infradźwiękowym. Adaptacja gatunków do ich naturalnego środowiska sugeruje, zatem, że naturalne widmo akustyczne w tym w zakresie infradźwiękowym zapewnia optymalne warunki do życia. Wydaje się prawdopodobne, że organizmy żywe potrzebują pewnej stałej kompozycji składowych infradźwiękowych, pewnego naturalnego tła, które niestety w niesprzyjających warunkach może być modyfikowane przez techniczną działalność człowieka. Dotychczasowe badania nie dały jeszcze odpowiedzi czy ten zakres częstotliwości wymaga odrębnego traktowania jako zagrożenie, czy wystarczy stosować te same przepisy jak dla hałasu słyszalnego.

Literatura

[1] Leventhall G., Pelmear P., Benton S. *A review of published research on low frequency noise and its effects*. (2003).

[2] Kasprzak C., *The Influence of Infrasounds on the Electrocardiograph Patterns in Humans*. Acta Physica Polonica A 118.1 (2010): 87-90.

[3] Kasprzak C., *The Effect of the Narrow-Band Noise in the Range 4 8 Hz on the Alpha Waves in the EEG Signal*. (2013).

[4] Kasprzak C., *Influence of Infrasound on the Alpha Rhythm of EEG Signal*. Acta Physica Polonica-Series A General Physics 121.1 (2012): A61.

[5] Kasprzak C., *The Influence of Infrasound Noise from Wind Turbines on EEG Signal Patterns in Humans*. Acta Physica Polonica, A. 125 (2014).

[6] Kasprzak C., Skrodzka E., Wiciak J. *The E ect of Wind Turbine Infrasound Emission on Subjectively Rated Activation Level*. development 7.10: 11.

[7] Damijan Z., Kasprzak C., Panuszka R., *Low frequency sounds and psychological tests at 7, 18, and 40 Hz*. The Journal of the Acoustical Society of America, 2004, 115(5), 2388–2388.

[8] Mott M., *Did animals sense tsunami was coming*. National Geographic News 4 (2005).

[9] Leventhall G., *What is infrasound?*. Progress in Biophysics and Molecular Biology 93.1 (2007): 130-137.
[10] Kasprzak C., Ozga A., Mleczko D., Piechowicz J. *Badania pilotażowe klimatu infradźwiękowego w Puszczy Niepołomickie*j W: Postępy akustyki / red. Krzysztof J. Opieliński. ISBN: 978-83-921663-6-8, 87–98.
[11] Wszołek T., Kłaczyński M., Mleczko D., Ozga A., *On Certain Problems Concerning Environmental Impact Assessment of Wind Turbines in Scope of Acoustic Effects,* Acta Physica Polonica A, No. 4-A, Vol.125 (2014), (A-38,A-44).
[12] McKenna S.M., et al. *Tree-cover and topography effects on local-infrasound propagation.* AGU Fall Meeting Abstracts. Vol. 1. 2013.
[13] Swearingen M. E., et al. *Use of a porous material description of forests in infrasonic propagation algorithms.* The Journal of the Acoustical Society of America 134.4 (2013): 2647-2659.
[14] Kyon D., Bae M., Lee J. *An analysis of the acoustic characteristics of forest sounds*. In Proceedings of Meetings on Acoustics 2014, vol. 21, no. 1, 05.

8. Zakończenie

Wędrując po Puszczy Niepołomickiej, po parkach narodowych i wielu innych obszarach leśnych doświadczamy świata różnorodnych dźwięków. Są to dźwięki natury (takie jak szum wiatru w koronach drzew, szelest liści pod nogami, śpiewy ptaków, brzęczenie owadów, odgłosy zwierząt) i dźwięki, które generuje człowiek rozwijając swoją cywilizację. Ludzie chronią swoje prawo do ciszy wprowadzając odpowiednie ustawodawstwo, które wymusza dochowanie określonych standardów akustycznych na terenach swojego zamieszkania i na terenach rekreacyjnych. Jednak brakuje uregulowań prawnych, które zapewniałyby prawo do ciszy faunie w naturalnym środowisku przyrody. Często ład przestrzenny naturalnych obszarów przyrodniczych naruszają czynniki związane z doraźnymi potrzebami człowieka, z chęcią maksymalizowania zysków lub brakiem wyobraźni, spojrzenia w przyszłość. Często właśnie w takich momentach należy zwrócić uwagę na ochronę prawną terenów parków krajobrazowych, parków miejskich i obszarów leśnych przed skutkami działalności człowieka, w tym również nadmiernym hałasem.

Hałas ma najczęściej destrukcyjny wpływ na jakość życia człowieka i zwierząt w jego otoczeniu. Mamy na myśli wszystkie zakresy częstotliwości: pasmo dźwięków słyszalnych przez człowieka oraz niskie dźwięki (infradźwięki) i ultradźwięki. Utrudnia porozumiewanie się, odpoczynek, pracę; bywa uciążliwy, drażniący. Człowiek stara się pokonać te zagrożenia i niedogodności hałasowe w otaczającym go świecie wykorzystując swoją wiedzę z dziedziny wibroakustyki. Stosuje różnego typu zabezpieczenia przeciwhałasowe, izoluje lub hermetyzuje źródła hałasu, stawia ekrany akustyczne, by dochować odpowiednich standardów na terenach akustycznie chronionych. Często są to działania skuteczne, jednak zawsze powinny odbywać się z poszanowaniem walorów krajobrazu oraz istniejącego prawa wynikającego z Ustawy o ochronie przyrody.

Ale krajobraz dźwiękowy kształtuje przestrzeń życia człowieka. Dźwięk można scharakteryzować biorąc pod uwagę jego fizyczne cechy w powiązaniu z psychoakustycznym oddziaływaniem i reakcjami człowieka. To pozwala na świadome działania zmierzające do kształtowania pejzażów akustycznych w naszym otoczeniu.

Podczas badań akustycznych prowadzonych w Puszczy autorzy rejestrowali chór odgłosów świtu ptaków, odgłosy rykowiska jeleni, dźwięki Puszczy rano, w czasie dnia i nocy. W tle odgłosów leśnych rejestrowany był ciągły szum autostrady, lokalnych dróg, linii kolejowej, przelatujących samolotów i inne. Swój akustyczny ślad zostawia również ruch turystyczny na ścieżkach leśnych, szczególnie intensywny w pogodne dni w okresie wiosenno-letnim. Zapisane nagrania tworzą podpis dźwiękowy charakterystyczny dla miejsca i czasu rejestracji.

Zazwyczaj nie zwracamy uwagi na rozmaitość otaczających nas dźwięków dopóki nie nauczymy się uważnie słuchać. Słuchać tego, co przyroda pragnie nam przekazać, w jaki sposób udziela nam informacji. Archiwizacja zbiorów zapisanych dźwięków w każdym z miejsc puszczy stanowią dokumentację zmian środowiska. Środowisko zmienia się dynamicznie wraz z postępem cywilizacji, zmianami klimatycznymi. Te zmiany możemy obserwować na spektrogramach analizowanych nagrań. Mogą pojawiać się nowe wzorce

głosów ptaków poszukujących nowych siedlisk, mogą znikać głosy niektórych gatunków na skutek zmian w środowisku.

Zachowując krajobraz przyrodniczy dla przyszłych pokoleń zostawmy im również nienaruszony jego stan akustyczny.

UWAGA! KRAINA ŻUBRA
www.MonitoringAkustyczny.pl
AKADEMIA GÓRNICZO - HUTNICZA
Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
AGH
tel.: 12 617 30 64, fax: 12 633 23 14
Zakup sfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju,projekt rozwojowy nr N R03 0030 06
PL KR 877NA