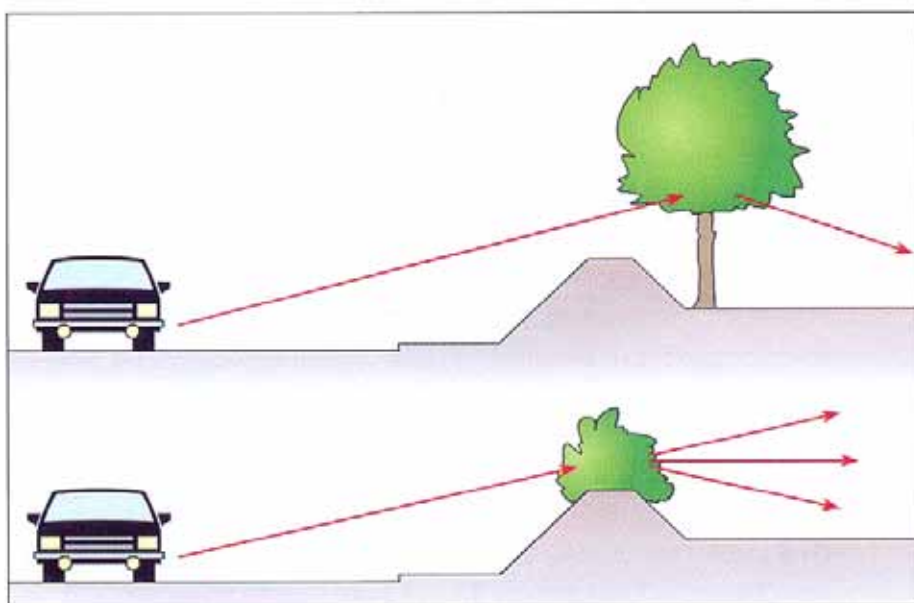


Redukcja hałasu od środków lokomocji

Krzysztof Gradkowski

Znaczna część treści niniejszego artykułu zawierają tezy referatu [1]. Problem hałasu pochodzącego od środków lokomocji narażający ludność obszarów zurbanizowanych na znaczne uciążliwości dotyczy głównie dużych ośrodków miejskich. Głównymi emitentami hałasu w miastach są środki komunikacji miejskiej. W dużych aglomeracjach miejskich są to tramwaje i autobusy. Zarówno w odniesieniu do tramwajów jak i miejskiego transportu samochodowego stosuje się szereg rozwiązań technicznych i konstrukcyjnych mających na celu ograniczenie natężenia i głośności dźwięku oraz ograniczenia emisji zanieczyszczeń atmosfery powstających w wyniku ich ruchu. Jest to stały trend obowiązujący w budowie tych pojazdów zmierzający do eliminacji zagrożeń dla naturalnego środowiska również miejskiego.

Od kilku lat, miasta zlokalizowane głównie w obszarach metropolitalnych w kraju opracowują mapy uciążliwości akustycznych na swoich terenach. Są to ilustracje wskazujące jak dalece hałas od ruchu komunikacyjnego jest uciążliwy dla mieszkańców miast. Zamieszczane mapy nie ujmują jednak całego zespołu zjawisk towarzyszących rozchodzeniu się fal akustycznych to znaczy refrakcji, interferencji oraz ogólnie znanych zjawisk fizycznych polegających na wzmacnianiu się tych fal i zmienności tła akustycznego. W rezultacie uzyskujemy nieco zniekształcony obraz natężenia dźwięków pochodzących z różnych źródeł lecz oddzielnie kwalifikowanych w zestawieniach od ruchu samochodowego, transportu szynowego i lotniczego. Mamy zatem do czynienia ze zniekształconym polem akustycznym w danych strefach miejskich o charakterze statycznym. Jest to tylko formalne wykonywanie wymagań unijnych wypełniające określone programy społeczne, bez widocznych i znaczących skutków walki z hałasem. Wiadomo też, że długotrwała ekspozycja na hałas w sąsiedztwie dzielnic mieszkaniowych przesuwają granice uciążliwości, gdzie już 65 dB wywołuje u ludzi stany nerwicowe oraz brak możliwości regeneracji organów słuchu. Inżynieria budownictwa drogowego poszukuje różnego rodzaju rozwiązań, które przyniosą określone efekty redukcji poziomów powstającego hałasu, tzw. wyciszania nawierzchni szynowej bądź budowa cichej nawierzchni drogi samochodowej. Jednak ze względów ekonomicznych w realizacjach powszechniejsze są wszelkie urządzenia stałe ekranujące oraz ograniczające pole akustyczne hałasu emitowanego w otoczeniu szlaku komunikacyjnego. Są to osłony akustyczne i ekrany poszczególnych osiedli i skupisk budynków mieszkalnych oraz budynków usługowych o czasie przebywania ludzi większym niż 6 godzin, uzupełniane zielenią oraz różnej formacji zadrzewienia i zakrzewienia [2]. Typowymi przykładami



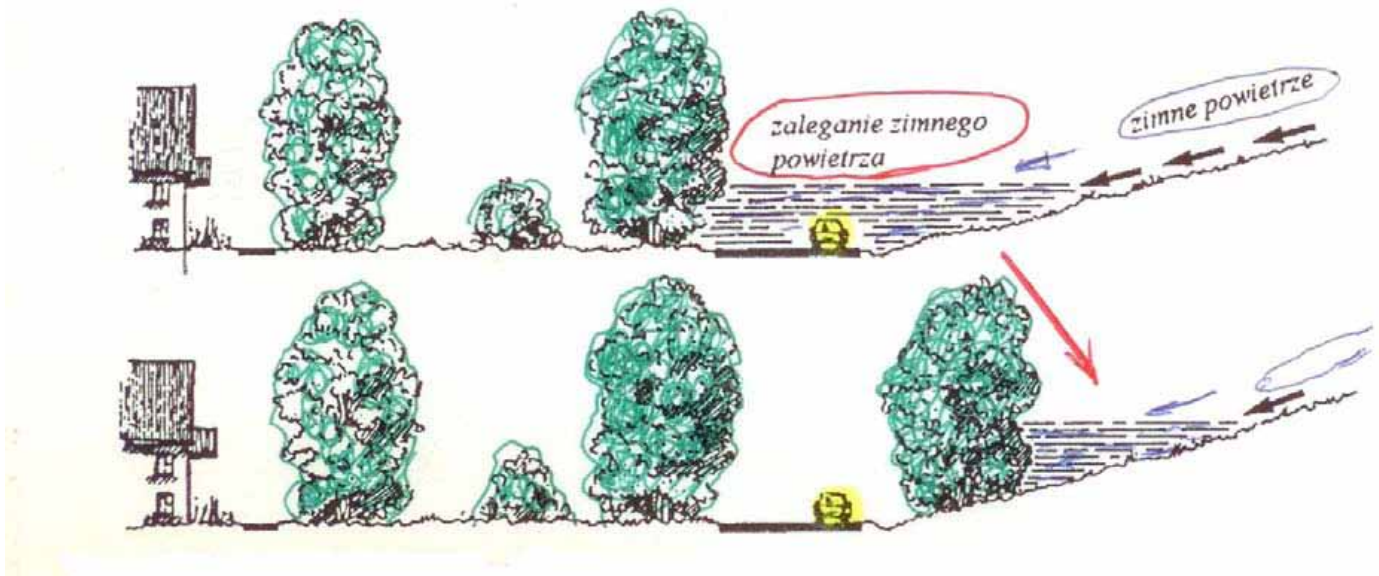
1. Klasyczny przykład ochronnej funkcji drzew w otoczeniu dróg



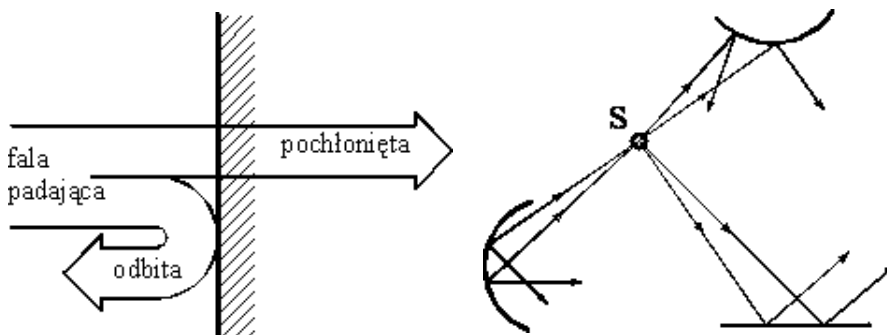
2. Przykład ziemnego ekranu akustycznego z krzewami

schematów inżynierskich takich zastosowań zieleni są rys. 1 i 2. które ponadto wskazują na ekonomiczną stronę wzmocnienia

ochronnej funkcji nasypu przez krzewy znajdujące się na jego koronie [2]. Drzewa i zielenie spełniają również ogólnie



3. Wpływ klimatycznej osłony drzew na warunki drogowe



4. Schemat odbicia i rozproszenia fali dźwiękowej

nie pewną rolę w kształtowaniu warunków krajobrazowych i klimatycznych w otoczeniu dróg i ulic (rys. 3). Mechanizmy tłumienia i rozpraszania fal akustycznych są znane w technicznych podstawach fizyki jako zmiany ciśnienia atmosferycznego zwanego też ciśnieniem akustycznym.

Z rys. 3 wynika oczywisty wpływ zadrzewienia na kształtowanie ciśnienia atmosferycznego i akustycznego w otoczeniu szlaków komunikacyjnych, a co za tym idzie również zakresu temperatur i wilgotności atmosfery. Racjonalnie urządzona zieleń wokół drogi to ograniczenie mgieł i gołoleźi na jezdni, a zatem pozytywny wpływ na bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego.

Z opisów zjawiska rozchodzenia fal dźwiękowych należy zwrócić uwagę na schematy odbicia i tłumienia dźwięków jako pewnej energii fal ciśnienia akustycznego, rys. 4. Fala dźwiękowa, która pada na ośrodek o innej oporności akustycznej zostaje częściowo odbita, a częściowo pochłonięta, zakres tych zmian zależy także od formy kształtu i struktury powierzchni przeszkody w ośrodku atmosfery.

Powierzchnia przeszkody i jej struktura charakteryzowana jest przez współczynnik odbicia i pochłaniania. Współczynnik odbicia wyraża stosunek energii fali odbitej do energii fali padającej. Współczynnik pochłaniania jest różnicą jedności i współczynnika odbicia.

Na kształt fali odbitej wpływa kształt przeszkody. Przeszkoda wklęsła skupia fale, wypukła rozprasza, a płaska odbija bez zmiany kształtu fali, (rys. 3). Z fizyki zjawiska wiadomo też, że zakres tłumienia dźwięku przez poszczególne materiały zależy w sposób zasadniczy od ich porowatości na którą składają się między innymi tzw. kawerny *Holzmana*. Drogą odrębnych testów podejmuje się próby ustalenia optymalnych kształtów i rozmiarów takich kawern, oraz ich zakres różnorodności. [2], [3]. Można najogólniej założyć, że sploty gałęzi i ulistnienie drzew oraz krzewów tworzą przeszkody w rodzaju powierzchni o strukturze „makro-porowatej”, materiałów chłonących i tłumiących energię fali akustycznej, czyli tworzą zmiany ciśnienia akustycznego. Potwierdzeniem tych założeń mogą być badania i pomiary [4] przeprowadzone w zeszłym roku, w okolicach

Zurychu. Wykonane prostą metodą, za pomocą bardzo czułych mikrofonów-kamer kierunkowych, zasługują na popularyzację bowiem wskazują na skuteczne sposoby ograniczenia rozprzestrzeniania hałasu, którego źródłem może być nie tylko ruch komunikacji miejskiej. Pomiary [4] przeprowadzono przy użyciu kamer rejestrujących natężenie dźwięku L [dB], dla różnych częstotliwości fal akustycznych w polu bliskim i rozproszonym to znaczy w pewnej odległości r [m] od przeszkody ekranującej. Założenia i zasadę przeprowadzonego pomiaru znakomicie ilustruje schemat na rys. 5. podany w [6]. Jak już zaznaczono, schemat ten ilustruje zasadę rejestracji stref względnie stałego natężenia dźwięku odbioru czyli tak zwanej stałej głośności nie zaś sam pomiar. Poziom głośności, mierzony w fonach jest zależny od częstotliwości akustycznej fali rozchodzenia się dźwięku dla konkretnego układu, na przykład według wykresu rys. 6. W wyniku pomiaru zarejestrowano linie i pola izofoniczne pokazane na rys. 7, 8 i 9.

Skuteczną rejestrację linii stałego natężenia (głośności) hałasu pochodzącego od ruchu samochodowego na pobliskiej drodze (od skraju ok. 8 m), przedstawiają rys. 7 i 8, które skłoniły do pomiarów porównawczych dla bezpośrednich źródeł dźwięku (hałasu) i dźwięku rozproszonego przez zwarte drzewa, rys. 9 i 10.

Natężenia te, czyli głośności zarejestrowano na diagramie rys. 10, z którego wynika skuteczność ściany zieleni w odbiciu i częściowym rozproszeniu zakresu częstotliwości fali akustycznej. W mniejszym stopniu fala akustyczna jest pochłaniana (tłumiona) przez zwarte stany drzew, niż w przypadku stałych konstrukcji ekranów akustycznych.

Ogólne wyjaśnienia tego zjawiska można uzyskać na podstawie analogii założenia, że zwarta ściana zieleni jest przegrodą ekranującą i pochłaniającą oraz rozpraszającą energię fal akustycznych. Do oceny pochłaniania dźwięku przez stałą przegrodę lub ekran służy jednolite wskaźnik pochłaniania dźwięku DL_{α} [dB], obliczany wg PN-EN 1793-1:2001.

$$DL_{\alpha} \gg f(A_T, S, L_i) \quad (1)$$

gdzie;

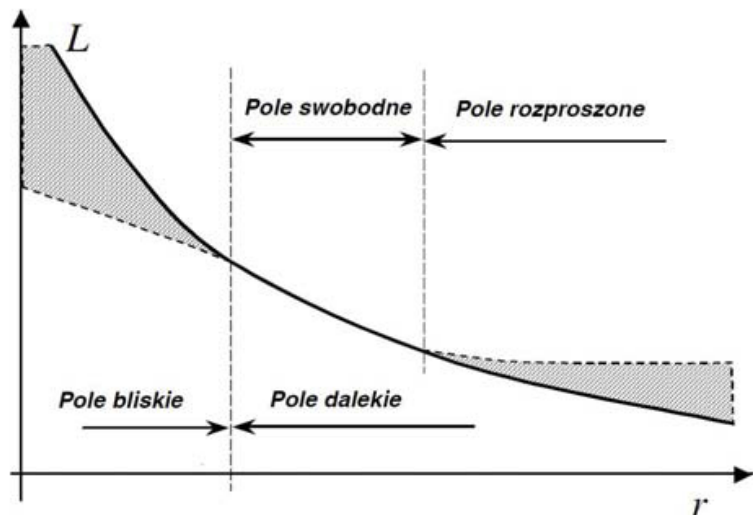
A_T - równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej badanej próbki [m²],

S - pole powierzchni dźwiękochłonnej próbki [m²],

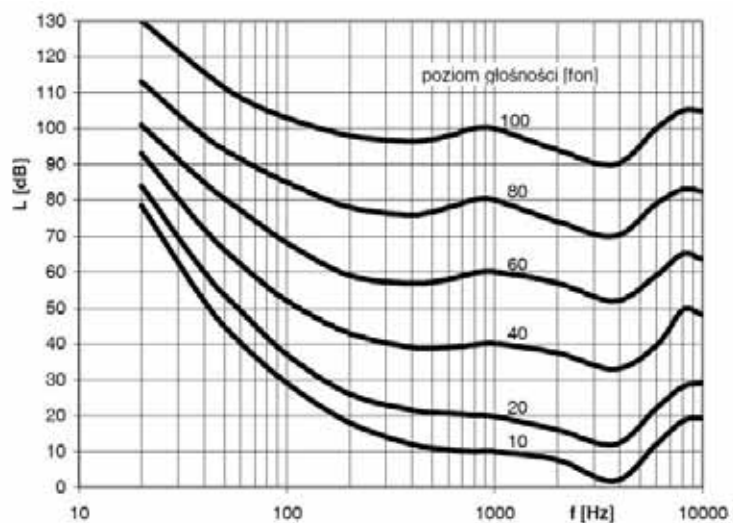
L_i - poziom dźwięku hałasu drogowego zmierzony w pasmach 1/3 oktaowych zdefiniowany w PN-EN 1793-3:2001

Wskaźnik pochłaniania dźwięku dla zwartych stref zieleni, definiowany jako stosunek energii pochłoniętej do padającej mógłby być zatem określony, gdyby można było określić w miarę dokładnie pole powierzchni równoważnej i dźwiękochłonnej dla takiej struktury jak „ściana” zieleni. Jest to oczywiście bardzo trudne. DL_{α} jest zawsze mniejszy od jedności, a z (1) wynika, że są to parametry wynikające z porównań własności różnych materiałów wykorzystywanych w ograniczaniu rozchodzenia się fali dźwiękowej lecz trudne do przeprowadzenia przy użyciu powołanej normy dla struktur roślinnych. Z innych doświadczeń wiadomo jedynie, że zieleń w stanie ulistnionym tłumi hałas w zakresie 0,03-0,35 [dB] na 1 m szerokości przegrody, w stanie bezliściwym 0,01-0,20 [dB]. Najlepszą izolacyjność akustyczną mają drzewa iglaste. Drzewa iglaste bardziej tłumią dźwięki o niższych częstotliwościach niż liściaste. Według badań drzewa liściaste odbijają 8% energii akustycznej, przez liście przechodzi 36%, a 56% zostaje rozproszone. Kilka węższych pasów zieleni bardziej tłumi hałas niż jeden pas zieleni o łącznej szerokości. Najskuteczniejsze są zwarte skupiska zadrzewień o strukturze kondygnacyjnej. Dwu i trzy „piętrowe” linie drzew i krzewów pełnią rolę ekranów akustycznych o skuteczności tylko nieco mniejszej niż ekrany w formie budowli inżynierskich. Wrażliwość na spaliny biologicznych procesów wegetacyjnych roślin, ogranicza ich stosowanie w pobliżu dróg o dużym natężeniu ruchu. Obecnie jednak, w niektórych krajach śródziemnomorskich wyodrębniono i zmodyfikowano pewne rodzaje krzewów palmowych i drzew, które są bardzo odporne na trudne warunki wzrostu w sąsiedztwie intensywnie eksploatowanych dróg, a są bardzo skuteczne w rozpraszaniu i tłumieniu fal akustycznych, rys. 11.

W warunkach miejskich, tworzenie zwartych ścian zadrzewień i zadrzewień odgradzających ulice od budynków mieszkalnych jest bardzo trudne wobec zagęszczenia różnych urządzeń infrastrukturalnych ograniczeń powierzchni. Tylko w niektórych przypadkach



5. Poziom natężenia dźwięku w zależności od odległości, wg [6]



6. Krzywe (Flechera – Munsona) równego poziomu dźwięku w polu swobodnym, wg [6]

nowych osiedli i tworzenia stref rekreacyjnych mamy takie możliwości. Niemniej funkcje ochronne może sprawować również zieleń innego typu, na przykład przedstawiona na rys. 12, 13, 14. Taki rodzaj zieleni obok niewątpliwych zalet dekoracyjnych, jest szczególnie skuteczny w redukcji hałasu pochodzącego od kół i podwozi pojazdów samochodowych i szynowych. Właśnie w tej strefie „przyziemnej”, jest emitowana większość decybeli, które docierają do odbiorców. Są to częściowe środki ograniczeń wpływu hałasu na otoczenie lecz niskonakładowe. Są to w pewnym sensie tzw. półśrodki lecz ich skuteczności nie można niedoceniać. Ich zastosowanie często nie jest zbyt kosztowne i na ogół rozwiązania tego typu nie mogą być traktowane jako docelowe i ostateczne. Znaczna część ogólnej emisji hałasu w miastach pochodzi od jego największego „emitenta” czyli tramwaju. System komunikacji tramwajowej, obok wszystkich swoich zalet i popularności powinien być ciągle udoskonalany także w zakresie ograniczania jego hałaśliwości. Okazuje się, że proste sposoby urządzenia zieleni – trawników – w obrębie torowisk tramwajowych mogą znacznie do tego się przyczynić, rys. 16, 17. Oczywiście

są też walory estetyczne takiej zieleni, która dodatkowo chroni przed kurzem i zapyleniem wznoszonym z torowisk pojazdów szynowych. W okolicach przebiegu kolei normalnotorowej sposób ten jest niemożliwy do zastosowania choćby ze względu na stosowne warunki eksploatacji technicznej takich linii kolejowych. Niemniej w warunkach tramwajów miejskich sposób ten jest aż nadto uzasadniony.

Tłumiące przegrody, żywopłotów krzewów i drzew są na ogół zrozumiałe w sensie ich funkcjonalności. Okazuje się jednak, że funkcję tłumiącą, w nieco mniejszym zakresie, mają trawniki i powierzchnie trawiaste. Stwierdzono doświadczalnie, że fale dźwiękowe są pochłaniane i rozpraszane przez powierzchnie terenów pokrytych roślinnością.

Efektywność w tłumieniu fali dźwiękowej tego rodzaju pokryw trawiastych jest tym większa, im trawa jest dłuższa, a trawnik ten jest bardziej zaniedbany i niekoszony. Są jednak granice takiego sposobu utrzymywania trawników. Poza tym pozwala to na dłuższe i „porowate” utrzymywanie śniegu na powierzchniach miejskich, który w tym znaczeniu odgrywa również pozytywną rolę tłumiącą hałas.



7. Obraz linii stałego natężenia dźwięku rozproszonego dla częstotliwości 400 – 1000 Hz



8. Obraz linii stałego natężenia dźwięku rozproszonego dla częstotliwości > 2000 Hz

Urządzenie trawników w obrębie pasa nawierzchni drogi szynowej, rys. 17 jest o wiele tańsze niż rozwiązanie polegające na „wytłumieniu” nawierzchni poprzez pokrycie warstwą bitumu odpowiedniego rodzaju. Nie może być jednak stosowane na każdym odcinku linii tramwajowej, ze względu na inne okoliczności związane z ruchem miejskim.

Na terenach intensywnie zurbanizowanych czyli w dużych miastach, procent populacji narażonej na hałas o natężeniu szkodliwym dla zdrowia jest dwu- i trzykrotnie większy niż na pozostałych obszarach zabudowy mieszkalnej. Prawie 17% populacji ludności Europy (około 113 mln) jest narażona na hałas powyżej 65 dB. Dlatego też, nawet najprostsze sposoby, choćby częściowego zmniejszenia uciążliwości hałasu warte są zastosowania bowiem mogą się złożyć na pewną sumę redukcji zakresu hałasu odbieranego przez

mieszkańców. Powszechne stosowanie sposobów graniczeń hałasu przy pomocy krzewów drzew i traw może być skuteczniejsze od wieloletnich programów ochrony środowiska przed hałasem. Sposoby te z pewnością mają wymiar proekologiczny i wpływają na estetykę krajobrazu oraz otoczenia środowisk bytowania i siedzib ludności danych mikroregionów aglomeracyjnych. ◀

Bibliografia

- [1] Gradkowski K.: Redukcja hałasu miejskiego za pomocą zieleni. Materiały Konferencji „Zieleń Miejska”, Szczecin, 26-27 kwietnia 2010
- [2] Gradkowski K.: Budowle i roboty ziemne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010.
- [3] Olszacki J.: Hałas ruchu drogowego. Część 2. Mechanizm tłumienia hałasu.

Drogownictwo nr 4, 2008., str. 118 – 122.

[4] Lebedowska B.: Hałas wokół autostrad. Metody prognozowania. Monografie. Politechnika Łódzka. Łódź 1998

[5] Weber M., Angst P.: Einfluss der Beflanzung auf die Schutzwirkung von Lärmhindernissen. Lärmbekämpfung. Nr. 6. November 2009.

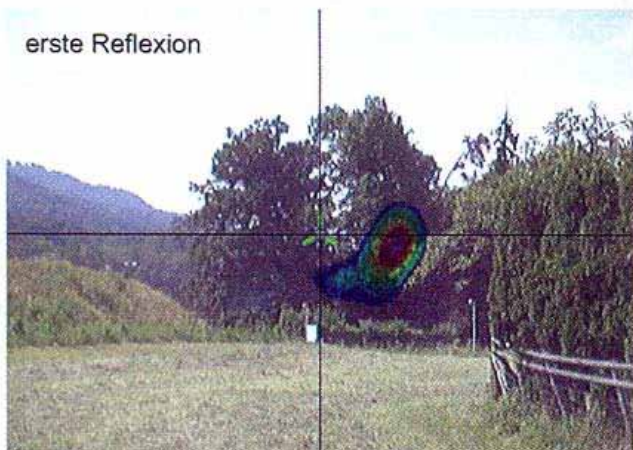
[6] Pomiary akustyczne. Plik pdf w sieci www.

dr inż. Krzysztof Gradkowski
Politechnika Warszawska,
Wydział Inżynierii Lądowej

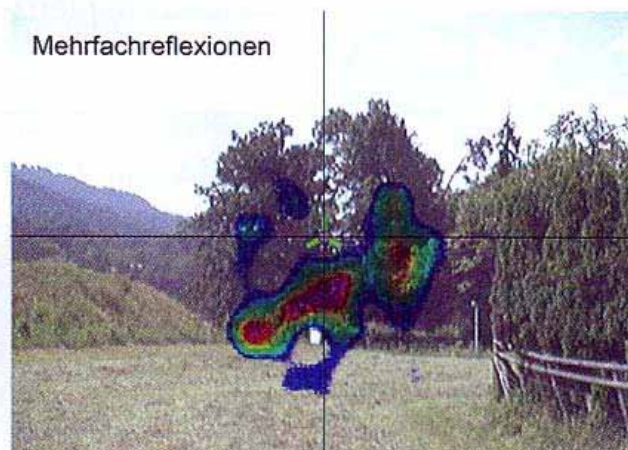
Direktschall



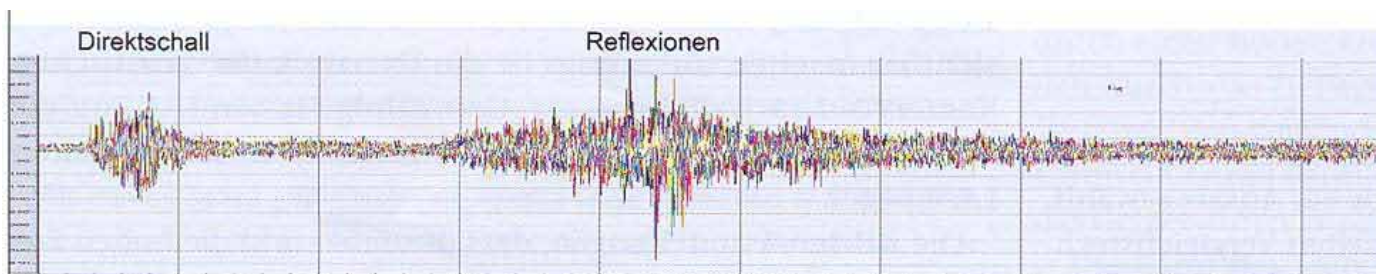
erste Reflexion



Mehrfachreflexionen



9. Pomiar bezpośredniego i odbitego natężenia dźwięku, wg [4]



10. Zapis wyniku pomiaru bezpośredniego i odbitego natężenia dźwięku, wg [4]



11. Nasadzenia palm ekranujących hałas docierający do budynków mieszkalnych



12. Dwupoziomowa „ściana” trzcina ogranicza hałas ulicy i torowiska tramwajowego



13. Pierwszy szereg izolacji trzcinią ograniczający hałas ulicy i torowiska tramwajowego



14. Ochrona barierą roślinności torowiska tramwajowego



15. Izolacja przeciw hałasowa wielopoziomowego ogrodu przydomowego



16. Trawnik częściowego wytłumienia torowiska tramwajowego



17. Dwa sposoby tłumienia hałasu toru tramwaju; trawnik i pokrycie bitumiczne



18. Nasyp z pokrywa trawiastą jako skuteczna ochrona hałasu opon