

Załącznik 1

Problem badawczy nr 66

POLITECHNIKA LUBELSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA
ZAKŁAD INŻYNIERII ŚRODOWISKA WEWNĘTRZNEGO
20-618 LUBLIN, NADBYSTRZYCKA 40B

OPRACOWANIE POD TYTUŁEM:

Zdolność innowacyjnych rolet zewnętrznych JackeR do tłumienia dźwięków pochodzących z zewnątrz budynku

22-600 Tomaszów Lubelski, Jeziernia,
tel. (084) 66-410-66, 66-412-76, 66-58-350,
fax. 66-58-748 e-mail: firma@jacker.com.pl

Wykonawcy :

mgr inż. Mariusz Skwarczyński

mgr inż. Tomasz Cholewa

LUBLIN, STYCZEŃ 2010



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Spis treści

1. Cel opracowania.....	4
2. Podstawa opracowania.....	4
3. Podstawy akustyczne	6
3.1 Uwarunkowania prawne.....	6
3.2 Pojęcia ogólne.....	7
3.3 Ochrona akustyczna budynku.....	10
4. Opis przedmiotu badań.....	13
5. Opis metody badawczej.....	14
6. Wyniki pomiarów.....	19
7. Podsumowanie.....	23
Załącznik A1.....	24



Oznaczenia użyte w opracowaniu

$L_{1,s}$ - *poziom średniego ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej* – Dziesięć logarytmów dziesiętnych ze stosunku średniej w czasie i po powierzchni kwadratów ciśnienia akustycznego, do kwadratu ciśnienia akustycznego odniesienia. Średnia z powierzchni dotyczy całej powierzchni pomiarowej z uwzględnieniem efektów obicia od próbki badawczej i od elewacji; poziom ten jest wyrażony w decybelach.

L_2 – *poziom średniego ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu* – Dziesięć logarytmów dziesiętnych ze stosunku średniej w czasie i przestrzeni kwadratów ciśnienia akustycznego do kwadratu ścieniania odniesienia; średnia przestrzenna jest wyznaczana z całego pomieszczenia, z wyjątkiem tych części, gdzie istotny wpływ ma bezpośrednie promieniowanie źródła lub bliskie pole powierzchni ograniczających (ścian), poziom ten jest wyrażony w decybelach.

R_{45} - *Izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona* - Miara izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych elementu budowlanego wówczas, gdy źródłem dźwięku jest głośnik i kiedy kąt padania dźwięku wynosi 45° .

$R_{45,w}$ - *Jednoliczbowy wskaźnik ważony izolacyjności od dźwięków powietrznych* – wartość jest wyrażona w decybelach, dla częstotliwości 500 Hz na krzywej odniesienia po przesunięciu jej zgodnie z metodą określoną w normie PN-EN ISO 717-1

C_j - *Widmowy wskaźnik adaptacyjny* – wartość jest wyrażona w decybelach, którą należy dodać do jednoliczbowego wskaźnika ważonego, aby uwzględnić charakterystyki poszczególnych widm hałasu.

y - *Wynik badania* - wartość końcowa uzyskana w pojedynczym pasmie częstotliwości po kolejnym wykonaniu wszystkich instrukcji zawartych w metodzie badawczej. W przypadku wykonywania pomiarów w wielu pasmach częstotliwości, uzyskuje się zestaw wyników badań.

1. Cel opracowania

Celem niniejszego opracowania było przeprowadzenie oceny oraz pomiarów izolacyjności akustycznej hałasu docierających do pomieszczeń ze środowiska zewnętrznego przy zastosowaniu innowacyjnych rolet zewnętrznych JackeR.

Opracowanie wykonano na podstawie pomiarów terenowych uzyskanych metodą inżynierską oraz informacji uzyskanych od Zleceniodawcy.

2. Podstawa opracowania

Podstawę merytoryczną wykonania pracy stanowiły:

- opis problemu badawczego przedstawiony w Deklaracji Uczestnictwa nr 66,
- uzgodnienia z przedstawicielami
- PN-EN ISO 3382:2001 – Akustyka. Pomiar czasu pogłosu pomieszczenia w powiązaniu z innymi parametrami akustycznymi.
- PN-EN ISO 140-5:1999 – Akustyka. Pomiar izolacyjności w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Pomiary terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych ściany zewnętrznej i jej elementów.
- PN-EN ISO 717-1 Akustyka. Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Izolacyjność od dźwięków powietrznych.
- PN-EN ISO 717-1:1999/A1:2008 Akustyka - Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Izolacyjność od dźwięków powietrznych
- PN-B-02151-3:1999 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania.
- PN-B-02151/02 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
- PN-EN 61672-1:2005 Elektroakustyka. Mierniki poziomu dźwięku. Część 1: Wymagania.
- PN-EN 61672-2:2005 Elektroakustyka. Mierniki poziomu dźwięku. Część 2: Badania dotyczące oceny modelu.

- PN-B-02151-3:1999 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem a budynkach - Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych

-Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Rozdział IX – Ochrona przed hałasem i drganiami

- publikacje i materiały naukowe, w szczególności:

- H. Recknagel, E. Sprenger, E. Schramek: Kompendium wiedzy: Ogrzewnictwo, Klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo, Omni Scala, 2008

- Poradnik nr 8 "Izolacja akustyczna – Wymagania wobec zewnętrznych elementów budowlanych dotyczące izolacji akustycznej" GEALAN –Dział doradztwa dla architektów.

Zakres pracy obejmował:

- montaż rolety systemu Heroal o grubości profilu 41 mm,

- przygotowanie aparatury do przeprowadzenia badań,

- wykonanie pomiarów terenowych metodą inżynierską potrzebnych do obliczenia izolacyjności akustycznej wybranego okna oraz dostarczonej przez Zleceniodawcę typu rolety,

- opracowanie i ocena wyników badań na podstawie obowiązujących norm i ustaw.

3. Podstawy akustyczne

3.1 Uwarunkowania prawne

Struktura zewnętrzna budynku ma za zadanie chronić pomieszczenia przed bezpośrednim oddziaływaniem środowiska zewnętrznego. Dodatkowym zadaniem stawianym w dzisiejszych czasach jest również ochrona mieszkańców budynku przed dźwiękami dochodzącymi do pomieszczeń. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, w dziale IX zatytułowanym „Ochrona przed hałasem i drganiami – wymogi”, podaje wymagania iż: „(..) pomieszczenia w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy chronić przed hałasem:

- 1) zewnętrznym przenikającym do pomieszczenia spoza budynku,
- 2) pochodzącym od instalacji i urządzeń stanowiących techniczne wyposażenie budynku,
- 3) powietrznym i uderzeniowym, wytwarzanym przez użytkowników innych mieszkań, lokali użytkowych lub pomieszczeń o różnych wymaganiach użytkowych.

Poziom hałasu oraz drgań przenikających do pomieszczeń w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej, z wyłączeniem budynków, dla których jest konieczne spełnienie szczególnych wymagań ochrony przed hałasem, nie może przekraczać wartości dopuszczalnych, określonych w Polskich Normach dotyczących ochrony przed hałasem pomieszczeń w budynkach oraz oceny wpływu drgań na ludzi w budynkach.

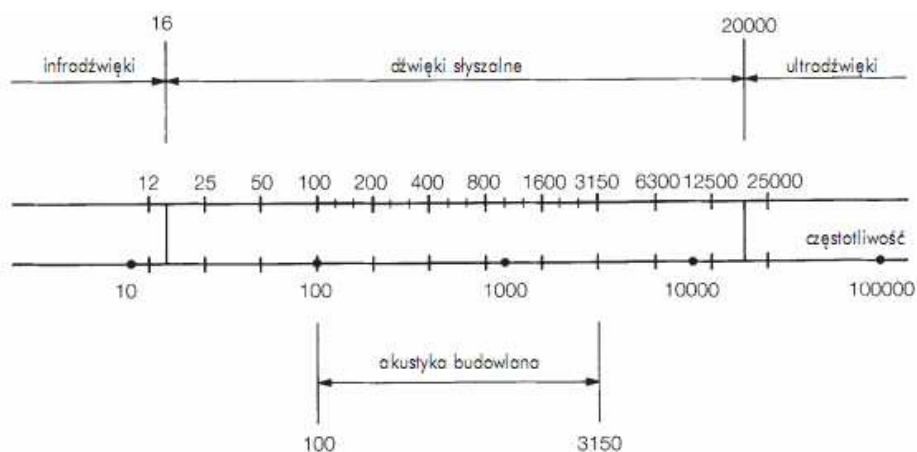
W Zarządzeniu o Zakładach pracy § Ustęp 1 z 12.08.2004 r. ustalono iż w zakładach pracy poziom ciśnienia akustycznego należy utrzymywać na tak niskiej wartości, jak to jest możliwe przy tym rodzaju pracy.” Poziom natężenia hałasu na stanowisku pracy w pomieszczeniach roboczych, również przy uwzględnieniu hałasów oddziałujących od zewnątrz, może wynosić co najwyżej 85 dB(A)”. Hałas zgodnie z powyższym zmniejsza odczucie komfortu wnętrza, może również prowadzić do obniżenia sprawności psychofizycznej człowieka czy nawet do ewidentnych uszczerbków na zdrowiu. Do źródeł możemy zaliczyć hałas pochodzący:



- ze stanowiska pracy,
- z mieszkań sąsiednich
- z zakładów przemysłowych,
- od ruchu ulicznego,
- od imprez rozrywkowych.

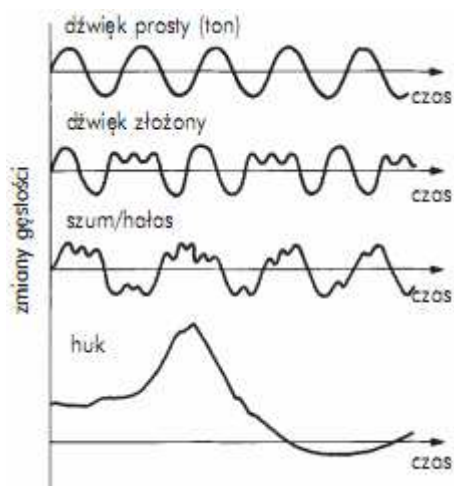
3.2 Pojęcia ogólne

Dźwięk powietrzny to dźwięk, który rozchodzi się w postaci fali powietrznej. Wywołuje ona w ludzkim uchu zmiany gęstości powietrza, a to prowadzi do transpozycji ciśnienia atmosferycznego. Zróżnicowany rozkład drgań w czasie powoduje powstanie różnych fal dźwiękowych. Podczas zwykłej rozmowy, w odległości 1m od ust mówiącego powstają ciśnienia akustyczne ok. 0,002 Pa. Najmniejszy wychwytywany dźwięk ma ciśnienie 2×10^{-5} Pa a granica bólu wynosi ok. 20 Pa. Podstawową wielkością akustyczną, która związana jest z wysokością dźwięku jest częstotliwość, którą interpretuje się jako liczbę drgań w ciągu 1 sekundy (Hertz). Dolna granica odczuwania (dźwięki najniższe) wynosi ok. 20 a górna 20000 Hertz. Drgania poniżej tych granic częstotliwości nazywamy infradźwiękami Drgania o częstotliwości powyżej górnej granicy słyszalności, to ultradźwięki. Im większa liczba drgań w ciągu sekundy, tym mocniej odczuwamy dźwięk.



Rys.1 Podział dźwięków w zależności od częstotliwości

Jeżeli drgania są sinusoidalne nazywamy je tonem. Wiele równocześnie słyszalnych tonów daje dźwięk, jeśli liczba drgań poszczególnych tonów są między sobą w proporcji liczb całkowitych (harmoniczne). Gdy drgania poszczególnych tonów są o dowolnej częstotliwości wtedy powstaje szum. Szum, który z racji mocy, rodzaju lub czasu trwania przeszkadza ludziom, a często szkodliwie oddziałuje na zdrowie – nazywamy hałasem.



Rys. 2 Interpretacja dźwięku w zależności od rodzaju drgań w powietrzu

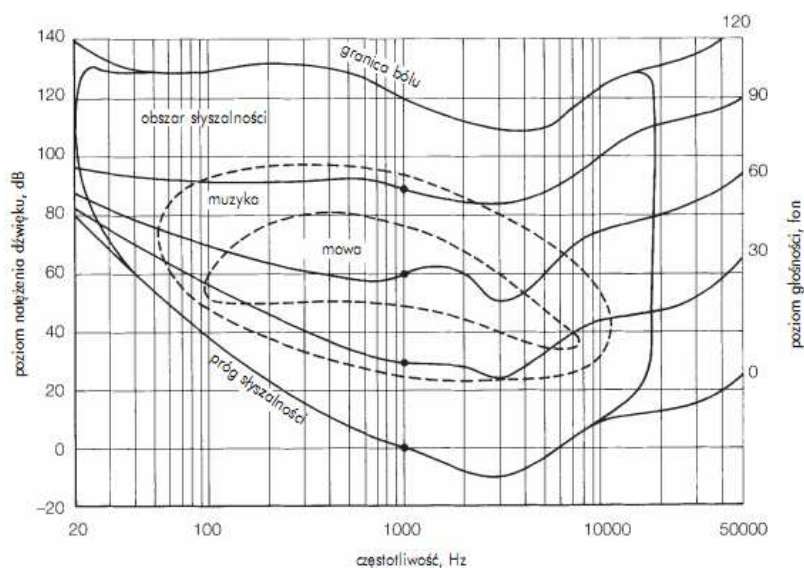
Każdy szum, zgodnie z zasadą Fouriera, można rozłożyć na zwykłe drgania sinusoidalne. Gdy na skali częstotliwości naniesie się intensywności poszczególnych drgań, otrzymuje się widmo dźwięku. Najniższe drganie nazywamy tonem podstawowym, wyższe drgania tonami górnymi. Dźwięki o tej samej wysokości ale o różnych charakterystykach różnią się między sobą tonami górnymi. Szумы mają ciągłe widma z mniej lub bardziej wydatnymi szczytami dla pewnych częstotliwości. Gdy poziom ciśnienia akustycznego jest stały dla wszystkich częstotliwości, mówi się o „szumie białym”. Znajomość widm szumów jest bardzo ważna przy zwalczaniu hałasów, gdyż ucho ocenia szумы na podstawie częstotliwości.

Ucho ludzkie nie odbiera wzrostu poziomu akustycznego proporcjonalnie do przyrostu głośności. Do podwojenia odczucia głośności niezbędny jest przyrost poziomu o 10 dB. Ponadto należy zauważyć, iż odpowiedź częstotliwościowa ucha nie jest liniowa i zmienia się wraz z poziomem. Ucho ludzkie jest najbardziej czułe w zakresie od 2 do 5 kHz, a najmniej dla bardzo dużych i małych częstotliwości. Można stwierdzić, iż ucho wybiórczo ma skłonność do ignorowania dźwięków słabych pojawiających się wraz z głośnymi. Czas niezbędny do oceny głośności wynosi $0,1 \div 0,2s$. Przybliżenie

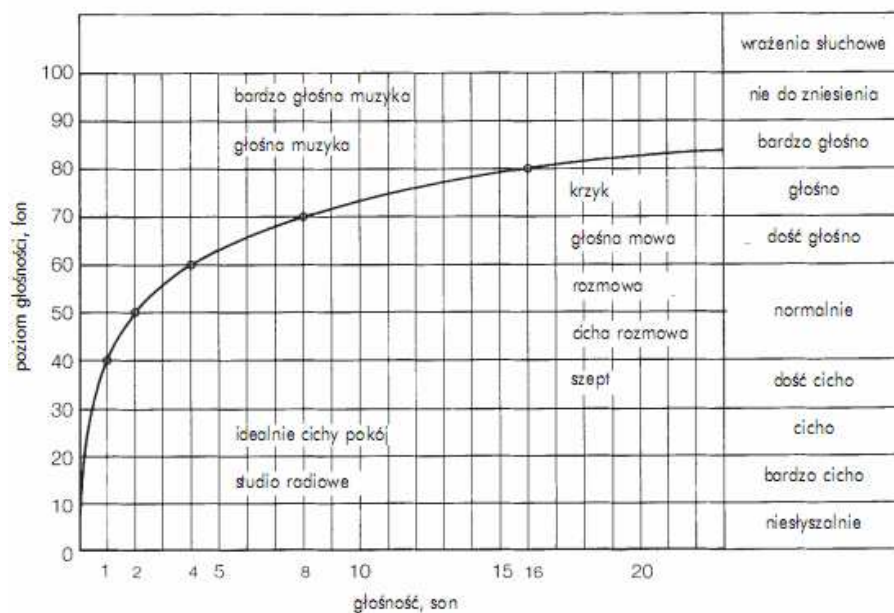
charakterystycznego dla ludzkiego ucha sposobu odbioru dźwięku prezentują krzywe jednakowej głośności wyrażonej w fonach. Krzywe te charakteryzują czułość ludzkiego ucha na dźwięki proste. Na rysunku 3 przedstawiono dźwięk o częstotliwości 100 Hz i poziomie 50 dB, którego poziom głośności odpowiada dźwiękowi o częstotliwości 1000 Hz i poziomie natężenia 40 dB. Poziom głośności jest zdefiniowany w ten sposób, że przy częstotliwości 1000 Hz jest on równy poziomowi ciśnienia akustycznego.

Przy ocenie głośności dźwięków używa się również jednostki 1 son. Jest to głośność dźwięku, którego poziom wynosi 40 fonów. W przypadku porównania ze sobą dwóch tonów o poziomie głośności 40 i 50 fonów to poziom o głośności 50 fonów odbierany jest przez ludzkie ucho jako dwa razy głośniejszy. Głośność jest informacją o tym, ile razy głośniejszy jest dla ludzkiego ucha dany ton w porównaniu do tonu o głośności 40 fonów. Zależność tą przedstawiono na rysunku 4.

Zależności jakie zachodzą pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego, poziomem głośności i częstotliwością, są bardzo skomplikowane. Do celów obliczeń i pomiarów technicznych, rzeczywiste krzywe poziomów głośności zastąpiono, zgodnie z międzynarodową umową, wyidealizowaną krzywą ważoną. Poziomom dźwięku przy różnych częstotliwościach przypisano odpowiednie wagi, uzyskując w ten sposób zobiektywizowaną miarę głośności. Określa się ją jako poziom dźwięku L_A który odpowiada charakterystyce wrażenia A. Miarą jest decybel, dB.



Rys. 3 Krzywe równego poziomu głośności dźwięków prostych w polu swobodnym (krzywe Fletchera-Munsona)



Rys. 4 Zależność pomiędzy głośnością a poziomem głośności

3.3 Ochrona akustyczna budynku

Dźwięki powietrzne docierają do pomieszczenia poprzez przegrody i pośrednio (przenoszenie boczne) np. przez:

- osłaniające przegrody działowe,
- szyby i kanały,
- rury,
- otwory w suficie podwieszonym,
- nieszczelności pomiędzy przegrodą zewnętrzną a działową.

Poprzez ochronę akustyczną należy rozumieć wszystkie działania budowlane, które zmierzają do zmniejszenia obciążenia człowieka szkodliwymi i niebezpiecznymi dla zdrowia wpływami hałasu. Do zabiegów związanych z ograniczeniem obciążeń hałasem można wyróżnić dwa kierunki:

- zmniejszenie natężenia hałasu u jego źródła,
- zwiększenie skuteczności ochrony akustycznej struktury budynku,

Poprawa izolacyjności akustycznej budynku istniejącego jest bardzo trudna, stąd też szczególne znaczenie ma właściwe projektowanie w tym zakresie. Dla uzyskania właściwej ochrony akustycznej należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- położenie budynku,
- rozkład wnętrza:
 - ułożenie pomieszczeń z uwagi na hałas zewnętrzny
 - ułożenie pomieszczeń z uwagi na hałas wewnętrzny od urządzeń technicznych
- wybór technologii i materiałów;
 - budynek masywny
 - lekki budynek szkieletowy
- sposób konstrukcji elementów budynku
- wyposażenie techniczne budynku:
 - sposób prowadzenia instalacji wodnych,
 - umiejscowienie pomieszczenia technicznego,

W przypadku gdy na ścianę pada energia dźwięku, to jej część zostaje zwrócona poprzez odbicie lub drgania (podobnie do drgań membrany), druga część zostaje pochłonięta lub przekazana dalej, a trzecia część jest przekazywana przez pory w ścianie lub dalej emitowana na skutek drgań po przeciwnej stronie ściany. Przy ścianach sztywnych przekazywanie dźwięku w znacznej części następuje na drodze drgań ściany.

W celu obliczenia poziomu ciśnienia akustycznego L posługuje się stosunkiem ciśnienia akustycznego p do ciśnienia odniesienia p_0 w skali logarytmicznej.

$$L = 10 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \text{ dB}$$

Skala decybelowa jest również stosowana do oceny intensywności dźwięku I i mocy dźwięku P .

$$L_i = 10 \lg \frac{I}{I_0} \text{ dB}$$

$$L_w = 10 \lg \frac{P}{p_0} \text{ dB}$$

Na podstawie powyższych wzorów otrzymuje się poziom natężenia dźwięku L_w

$$L_w = L + 10 \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB}$$

W przypadku gdy potrzebne jest określenie różnicy poziomów dźwięku D po jednej stronie ściany bądź stropu należy zróżnicować poziom dźwięku L_1 po jednej i L_2 po drugiej stronie przegrody.

$$D = L_1 - L_2$$

Nie zależy ona wyłącznie od niżej wymienionej miary tłumienia dźwięku przez konstrukcję ściany, lecz także od wielkości powierzchni i zdolności pochłaniania dźwięku ścian w pomieszczeniu.

Miarą izolacyjności akustycznej przegrody jest jej zdolność do zmniejszenia poziomu natężenia dźwięku pomiędzy pomieszczeniem głośnym a cichym. Można wyróżnić izolacyjnością akustyczną właściwą R oraz izolacyjność akustyczną właściwą przybliżoną R' , które są określane w pasmach tercjowych lub oktawowych, określane z następującego równania:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \times \lg\left(\frac{S}{A}\right) \text{dB}$$

gdzie:

L_1 jest poziomem średniego ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu wysyłającym [dB]

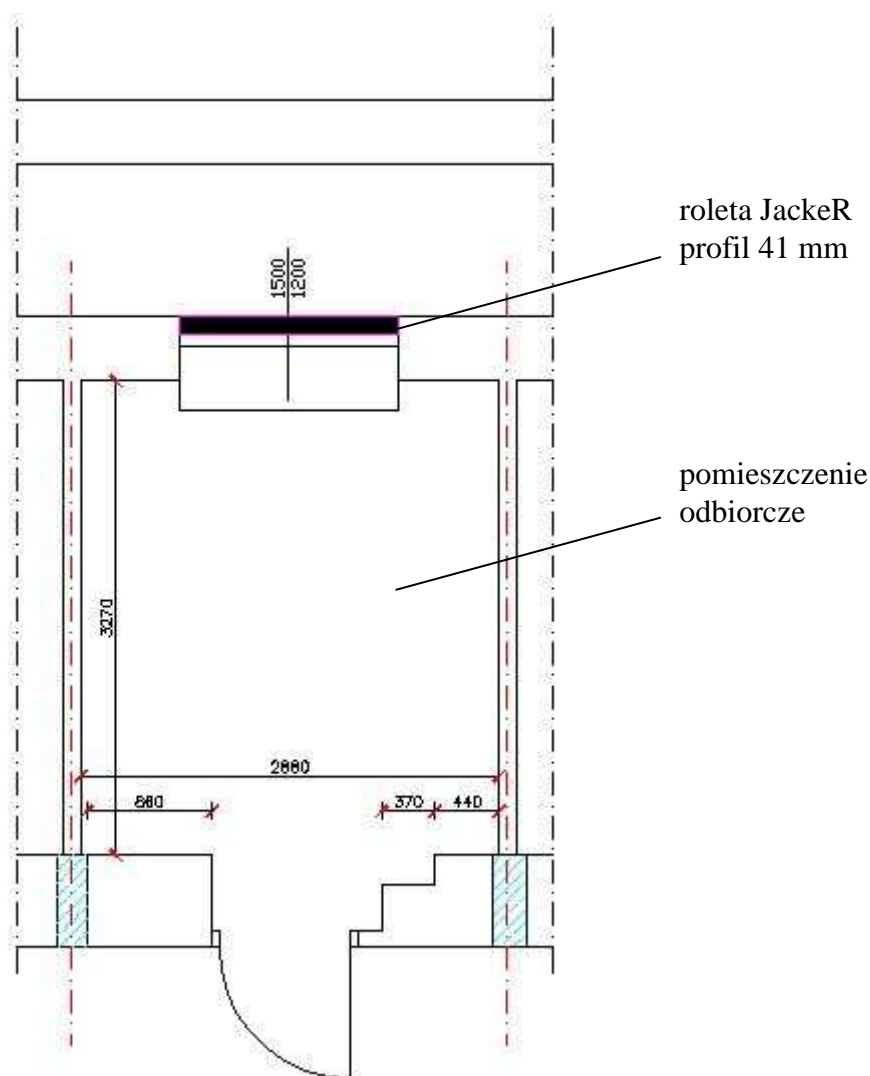
L_2 jest poziomem średniego ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu przyjmującym [dB]

S jest powierzchnią badanej próbki po stronie przyjmującej [m^2]

A jest równoważną powierzchnią dźwiękochłonną pomieszczenia przyjmującego [m^2 Sabine].

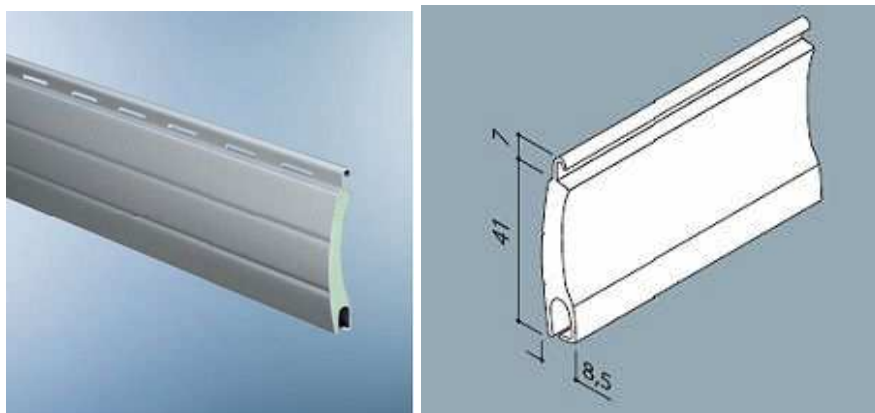
4. Opis przedmiotu badań

Do przeprowadzenia badań wybrano pomieszczenie biurowe znajdujące się w budynku Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Lubelskiej przy ulicy Nadbystrzyckiej 40 B w Lublinie o powierzchni 9,4 m² oraz kubaturze 26,4 m³. Ściany zewnętrzne wykonane są z cegły ceramicznej pełnej (12 cm), izolacji termicznej (8 cm) oraz pustaków (24 cm). W pomieszczeniu znajduje się otwór okienny, w którym zamontowane jest aluminiowe, dwuskrzydłowe okno o wymiarach 1500x1200mm, wyposażone w szyby zespolone.



Rys. 5 Rzut pomieszczenia badawczego z zainstalowaną roletą.

Roleta HR firmy JackeR o profilu 41 cm systemu HEROAL (Rys 6) została zamontowana w systemie natynkowym. Pancierz rolety zamontowany został w odległości 70 mm od szyby okna.



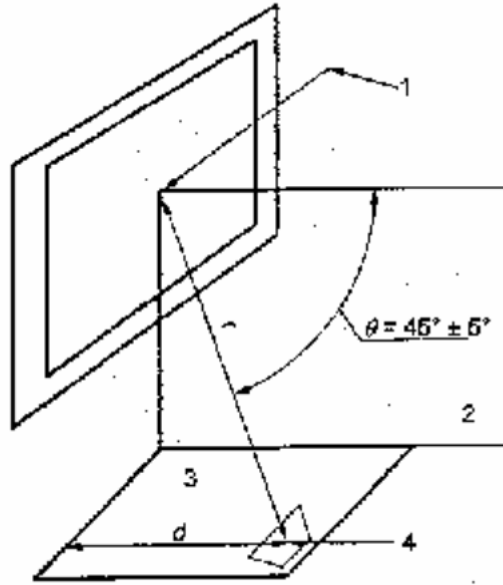
Rys. 6 Profil rolety HR 41 mm

5. Opis metody badawczej

Z uwagi na temat opracowania wybrano metodę badawczą na podstawie normy PN-EN ISO 140-5 „Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych” – Pomiary terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych ściany zewnętrznej i jej elementów. Ponadto w celu określenia izolacyjności zastosowano tok obliczeniowy przedstawiony w normie PN-EN ISO 717-1.

Z uwagi na możliwość porównania w przyszłości izolacyjności akustycznej zmierzonych w warunkach polowych z pomiarami laboratoryjnymi przyjęto metodę „elementu” z zastosowaniem głośnika, na podstawie której uzyskuje się izolacyjność akustyczną właściwą przybliżoną R'_{45} , która przy określonych warunkach (tj. ze względu na dokładność pomiaru), może być porównywana z izolacyjnością akustyczną właściwą R zmierzoną w laboratorium.

Głośnik umieszczono na zewnątrz budynku w jednej pozycji tak aby kąt padania dźwięku wynosił 45° (Rys. 7). Poziom średniego ciśnienia akustycznego został określany bezpośrednio na powierzchni badanej próbki oraz w pomieszczeniu odbiorczym. Na podstawie pomiarów obliczona została izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona R'_{45} w 5 pasmach oktawowych od 125 Hz do 2000 Hz.



1- Normalna do elewacji, 2 - Płaszczyzna pionowa, 3 - Płaszczyzna poziomowa, 4 - Głośnik

Rys. 7 Usytuowanie źródła hałasu w metodzie „elementu” z zastosowaniem głośnika

Izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona została obliczona ze wzoru:

$$R'_{45} = L_{1,s} - L_2 + 10 \times \lg\left(\frac{S}{A}\right) dB - 1,5 dB$$

gdzie:

$L_{1,s}$ jest poziomem średniego ciśnienia akustycznego na powierzchni badanej próbki

L_2 jest poziomem średniego ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym

S jest powierzchnią badanej próbki

A jest równoważną powierzchnią dźwiękochłonną pomieszczenia odbiorczego.

Uwaga: Powyższe równanie jest oparte na założeniu, że dźwięk pada tylko pod kątem 45° , i że pole akustyczne w pomieszczeniu odbiorczym jest doskonale rozproszone.

Wytworzone pole akustyczne w trakcie prowadzenia pomiarów było stałe. Zastosowano szумы o widmie z przewagą częstotliwości niskich – szum różowy, generowanych za pomocą programu komputerowego NCH Tone Generator firmy NCH Swift

Sound. Zastosowanie szumu różowego podyktowane było tym, iż szum ten odzwierciedla równomierność postrzegania dźwięku przez ludzkie ucho. Ponadto pomierzone różnice pomiędzy poziomami mocy akustycznej w pasmach oraz w poszczególnych punktach pomiarowych nie były większe od 6 dB w paśmie oktawowym 125 Hz, 5 dB w paśmie 250 Hz i 4 dB w pasmach o wyższych częstotliwościach środkowych.



Rys. 8 Całkujący miernik poziomu dźwięku SON-50 firmy SONOPAN

Do pomiarów użyto całkujący miernik poziomu dźwięku SON-50 (rys. 8), 1 klasy dokładności firmy SONOPAN. Dane techniczne użytego miernika zostały zawarte w załączniku nr 1 niniejszego opracowania. Do miernika została podłączony filtr oktawowy OF-50 o skokowo przełączanych częstotliwościach środkowych: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, które spełniają wymagania IEC 61260. Zastosowany mikrofon WK-21 firmy SONOPAN zgodny jest z normą PN-EN ISO 140-5, średnica elementu pomiarowego nie przekraczała 13 mm i wynosiła 12,7 mm. Przyrząd przed wykonaniem pomiarów został skalibrowany w akredytowanym ośrodku producenta urządzenia. Równoważny poziom dźwięku średniego L_{feq} uśredniony w czasie obserwacji poziomu ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym określano na podstawie pojedynczego pomiaru mikrofonem

dla danego pasma oktawowego hałasu nieustalonego. Poziomy ciśnienia akustycznego w 6 punktach pomiarowych zostały uśrednione na zasadzie energetycznej dla wszystkich częstotliwości pasma oktawowego na podstawie poniższego wzoru:

$$L_{1,s} = 10 \lg(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + 10^{\frac{L_3}{10}} + 10^{\frac{L_4}{10}} + 10^{\frac{L_5}{10}} + 10^{\frac{L_6}{10}}) - 10 \lg(6) \text{ dB}$$

gdzie:

L_1, L_2, \dots, L_6 są poziomami ciśnienia akustycznego pomierzonego w punktach 1, 2, ..., 6.

Pozycje punktów pomiarowych były równomiernie rozmieszczone w jak największej przestrzeni pomiarowej dopuszczanej w danym pomieszczeniu zgodnie z następującymi wytycznymi:

- 0,7 m między poszczególnymi pozycjami mikrofonu;
- 0,5 m między każdą pozycją mikrofonu a przegrodami budowlanymi ograniczającymi pomieszczenie lub przedmiotami znajdującymi się w pomieszczeniu,
- 1,0 m między pozycją mikrofonu a źródłem dźwięku

Czas trwania jednego cyklu przyjęto zgodnie z normą PN-EN ISO 140-5 w poszczególnych punktach pomiarowych na 15 s.

Po wykonaniu każdego pomiaru określono poziom tła akustycznego L_b . We wszystkich pasmach częstotliwości poziom mocy akustycznej źródła dźwięku był wystarczająco duży, aby w pomieszczeniu odbiorczym uzyskać poziom ciśnienia akustycznego przewyższający poziom tła o 10 dB. Z uwagi na powyższe w obliczeniach nie uwzględniano poprawki na dźwięki uboczne (hałas dobiegający z zewnątrz badanego pomieszczenia, szum elektryczny w układzie odbiorczym lub sprzężenia pomiędzy źródłem a układem odbiorczym).

Tłumienie dźwięku w elemencie budowlanym zależy od częstotliwości napływającej fali dźwiękowej. Aby scharakteryzować tłumienie dźwięku, analogicznie do szumów w skali A, za pomocą wartości liczbowej, wprowadzono krzywą odniesienia (PN-EN ISO 717-1), którą przedstawiono na rysunkach nr 9 oraz 10. Odpowiada ona w przybliżeniu tłumieniu dźwięku ściany z cegły pełnej o grubości 25 cm. Wartość liczbową otrzymaną za pomocą krzywej odniesienia jest oznaczana jako szacowana miara tłumienia dźwięku R_w .

Przegrody zewnętrzne narażone są na dźwięki powietrzne, stąd ich izolacyjność akustyczną charakteryzują poniższe wskaźniki dla ściany zewnętrznej bez okien lub z oknami oraz okna w przegrodzie zewnętrznej:

- całą przegrodę charakteryzuje R'_{A2} lub R'_{A1} – wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej,
- elementy budowlane przeznaczone do zastosowania w budynkach jako przegroda budowlana scharakteryzowane są przez R_{A2} lub R_{A1} (wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej) lub $R_w(C, C_{tr})$ – wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej i widmowy wskaźnik adaptacyjny C i C_{tr} .

Wskaźniki oceny izolacyjności akustycznej R_{A2} i R_{A1} oblicza się w następujący sposób: gdzie:

$$R_{A1} = R_w + C$$

$$R_{A2} = R_w + C_{tr}$$

R_w – wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej elementu przegrody zewnętrznej, dB.

C – widmowy wskaźnik adaptacyjny obliczany w odniesieniu do widma różowego szumu skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A, dB.

C_{tr} – widmowy wskaźnik adaptacyjny obliczany w odniesieniu do widma hałasu drogowego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A, dB.

Pomiary wykonano dla okna z zainstalowaną roletą w dwóch wariantach ze zwiniętym pancierzem profili oraz z opuszczonym pancierzem profili. Na podstawie powyższej różnicy została przedstawiona różnica izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej R'_{45} oraz wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej $R'_{45,w}$ dla okna bez i z zainstalowanym pancierzem.

6. Wyniki pomiarów

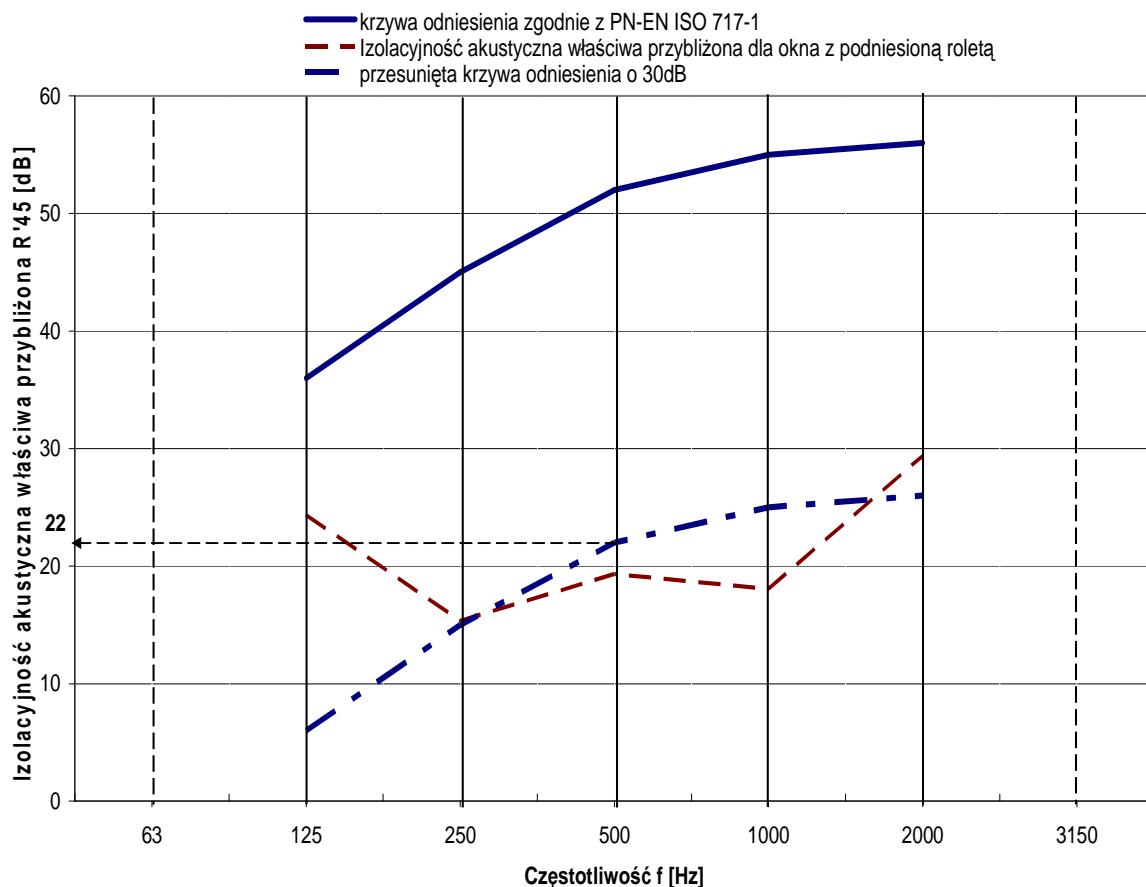
Tab. 1 Obliczenia jednoczłobowego ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej $R_{45,w}$ i widmowych wskaźników adaptacyjnych c oraz c_{tr} dla okna z roletą zewnętrzną ze zwiniętym pancerzem

Częstotliwość	$R_{i,45}$	Wartość odniesienia przesunięte o 30 dB	Niekorzystne odchylenie	Widmo Nr 1	$L_{j1}-R_{i,45}$	$10^{(L_{j1}-R_{i,45})/10} \times 10^5$	Widmo Nr 2	$L_{j1}-R_{i,45}$	$10^{(L_{j1}-R_{i,45})/10} \times 10^5$
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
125	24,3	6	-	-21	-45,3	2,951	-14	-38,3	14,791
250	15,4	15	-	-14	-29,4	114,82	-10	-25,4	288,403
500	19,3	22	2,7	-8	-27,3	186,21	-7	-26,3	234,422
1000	18,1	25	6,9	-5	-23,1	489,78	-4	-22,1	616,595
2000	29,4	26	-	-4	-33,4	45,709	-6	-35,4	28,8403
	Suma = 9,6 < 10 $R_{45,w} = 52 - 30 = 22$ dB			Suma = $839,46 \times 10^{-5}$ $-10\lg(\text{sumy}) = 20,760$ $C = 21 - 22 = -1$ dB			Suma = $1183,052 \times 10^{-5}$ $-10\lg(\text{sumy}) = 19,269$ $C_{tr} = 19 - 22 = -3$ dB		

Izolacyjność akustyczna:

$$R_{A1} = R_{45,w} + C = 22 - 1 = 21 \text{ dB}$$

$$R_{A2} = R_{45,w} + C_{tr} = 22 - 3 = 19 \text{ dB}$$



Rys. 9 Graficzne przedstawienie jednoliczbowego ważony wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej $R_{45,w}$ i widmowych wskaźników adaptacyjnych c oraz c_{tr} dla okna z roletą zewnętrzną ze zwiniętym pancernem

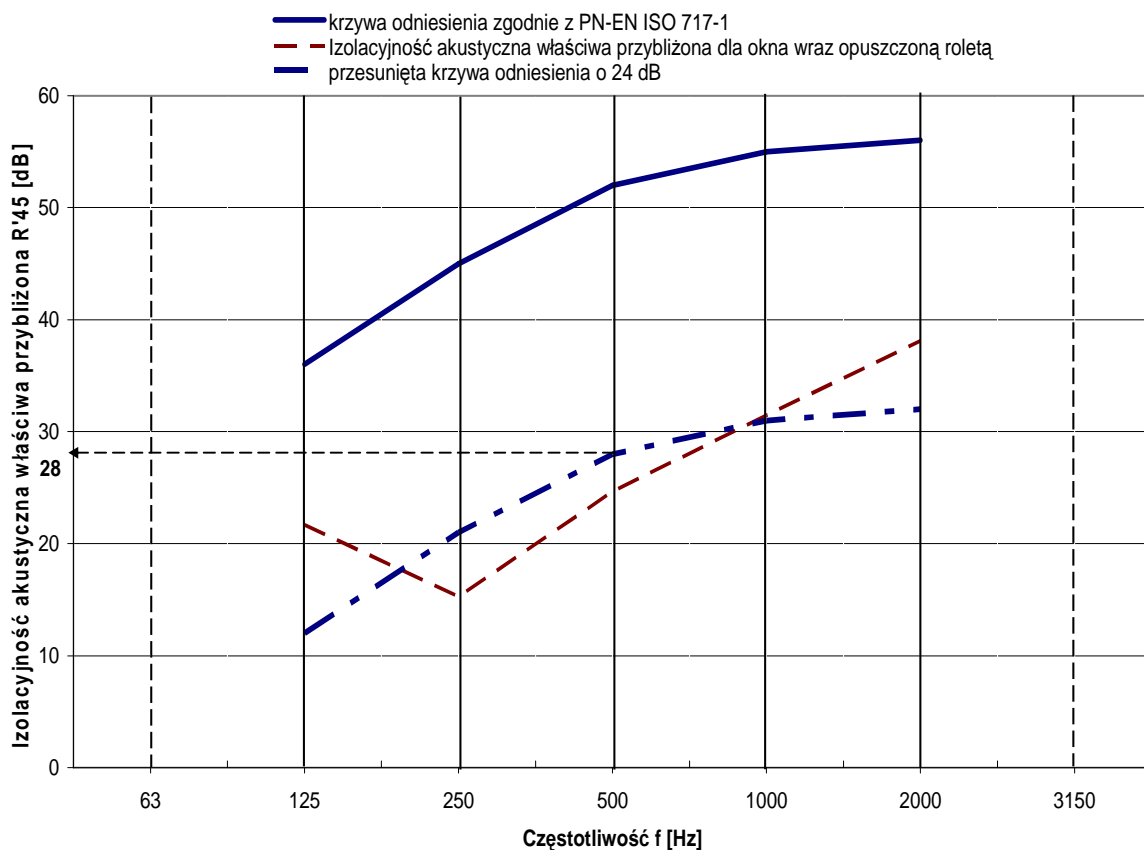
Tab. 2 Obliczenia jednolicebowego, ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej $R_{45,w}$ i widmowych wskaźników adaptacyjnych c oraz c_{tr} dla okna z roletą zewnętrzną z rozwiniętym pancernem

Częstotliwość	$R_{i,45}$	Wartość odniesienia przesunięte o 24 dB	Niekorzystne odchylenie	Widmo Nr 1	$L_{j1}-R_{i,45}$	$10^{(L_{j1}-R_{i,45})/10} \times 10^5$	Widmo Nr 2	$L_{j1}-R_{i,45}$	$10^{(L_{j1}-R_{i,45})/10} \times 10^5$
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
125	21,7	12	-	-21	-42,7	5,370	-14	-35,7	26,915
250	15,3	21	5,7	-14	-29,3	117,49	-10	-25,3	295,121
500	24,7	28	3,3	-8	-32,7	53,703	-7	-31,7	67,608
1000	31,5	31	-	-5	-36,5	22,387	-4	-35,5	28,183
2000	38,1	32	-	-4	-42,1	6,165	-6	-44,1	3,890
	Suma = 9 < 10 $R_{45,w} = 52 - 24 = 28$ dB			Suma = $205,11 \times 10^5$ $-10\lg(\text{sumy}) = 26,88$ $C = 27 - 28 = -1$ dB			Suma = $421,718 \times 10^5$ $-10\lg(\text{sumy}) = 23,749$ $C_{tr} = 24 - 27 = -4$ dB		

Izolacyjność akustyczna:

$$R_{A1} = R_{45,w} + C = 28 - 1 = 27 \text{ dB}$$

$$R_{A2} = R_{45,w} + C_{tr} = 28 - 4 = 24 \text{ dB}$$



Rys. 10 Graficzne przedstawienie jednoczłowego ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej $R'_{45,w}$ i widmowych wskaźników adaptacyjnych c oraz c_{tr} dla okna z roletą zewnętrzną z rozwiniętym pancierzem

7. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów terenowych wykonanych metodą inżynierską na podstawie jednoczłobowego ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej $R_{45,w}^{\prime}$ ($f=500$ Hz) dla okna wyposażonego w roletę zewnętrzną HR o profilu 41 mm firmy JackeR można stwierdzić poprawę izolacyjności akustycznej o **6 dB** dla kombinacji okno z roletą zewnętrzną z rozwiniętym pancierzem w stosunku do kombinacji okno z roletą zewnętrzną ze zwiniętym pancierzem.

Dzięki zastosowaniu rolet zewnętrznych uzyskano polepszenie izolacyjności akustycznej pomieszczenia, co w znaczącym stopniu przekłada się na zwiększenie komfortu wnętrza i polepszenia nastroju psychofizycznego użytkowników.

Należy zaznaczyć, iż faktyczny i dokładny poziom tłumienia hałasu przez okno wyposażone w roletę zewnętrzną można wyznaczyć jedynie w trakcie badań izolacyjności akustycznej okna dla określonej konstrukcji okna oraz profilu rolety i może się on różnić od wartości przedstawionych w niniejszym opracowaniu.

Załącznik A1

Dane techniczne całkowitego miernika poziomu dźwięku SON-50 firmy SONPAN.

Miernik zalicza się do grupy X, w rozumieniu normy PN-EN 61672-1:2005.

Parametry techniczne:

- Klasa dokładności 1
- Rozdzielczość odczytu 0,1dB
- Maksymalna wartość ciśnienia akustycznego, nie powodująca uszkodzenia miernika 150dB (zniekształcenia nieliniowe <3%)
- Maksymalna wartość sygnału przy wymuszeniu elektrycznym (przy użyciu ekwiwalentu mikrofonu) $22V_{p-p}$
- Pojemność impedancji zastępczej, umożliwiającej doprowadzenie elektrycznego sygnału pomiarowego do wejścia części elektrycznej miernika 18pF
- Warunki odniesienia
 - typ pola akustycznego swobodne
 - częstotliwość odniesienia 1000Hz
 - poziom odniesienia ciśnienia akustycznego 94dB
 - zakres odniesienia 55 – 115dB
 - kierunek odniesienia mikrofonu oś symetrii mikrofonu
 - punkt odniesienia mikrofonu środek membrany mikrofonu
 - orientacja przestrzenna odniesienia fala akustyczna padająca z kierunku odniesienia
 - temperatura odniesienia +23°C
 - wilgotność względna odniesienia 50%
 - ciśnienie atmosferyczne odniesienia 101,325kPa
- Błąd podstawowy dla sygnału sinusoidalnego odniesienia (1000Hz, 94dB, w polu swobodnej fali akustycznej padającej prostopadle do płaszczyzny mikrofonu) $< \pm 0,7\text{dB}$
- Zakres temperatury pracy $-10 \div +50^\circ\text{C}$
- Zakres temperatury przechowywania $-10 \div +50^\circ\text{C}$

• Zakres wilgotności względnej	< 90% (bez kondensacji)
• Zakres ciśnienia atmosferycznego	65 ÷ 108kPa
• Emisja elektromagnetyczna	zgodna z PN-EN 61672-1:2005 (największa, gdy mikrofon jest dołączony przez przedłużacz mikrofonowy)
• Czas wygrzewania	
- po włączeniu zasilania	1 minuta
- po zmianie warunków klimatycznych	15 minut
• Czas pomiaru ustawiany z rozdzielczością 1sekundy	99 godzin 59 minut 58 sekund
• Interfejs szeregowy	RS232C
• Wymiary bez mikrofonu	237 x 84 x 50 mm
• Okres zapisu historii	1s, 5s, 10s, 15s, 30s lub 1min
• Zasilanie	
- Bateria alkaliczna (6LF22)	9V
• Minimalne napięcie pracy baterii	5V
• Czas ciągłej pracy z nowa bateria	>12h
• Masa	450g
Wpływ czynników zewnętrznych	
• Wpływ ciśnienia atmosferycznego	-0,01dB/kPa (dla 1kHz)
• Wpływ temperatury	< ±0,8dB
• Wpływ wilgotności	< ±0,1dB (bez kondensacji)
• Wpływ pola elektromagnetycznego	zgodny z PN-EN 61672-1:2005 (największy, gdy przedłużacz mikrofonowy jest ułożony wzdłuż pola)
• Wpływ pola elektrostatycznego	zgodny z PN-EN 61672-1:2005
• Wpływ pola magnetycznego,	80A/m (podzakres 15 – 95dB)
- korekcja	A bez wpływu
- korekcja	C < 35,0dBC
- korekcja	LIN < 37,0dBL