

dr inż. Agata Szela^{1*)}

ORCID: 0000-0002-9058-565X

dr hab. inż. arch. Andrzej Kłosak, prof. PK¹⁾

ORCID: 0000-0001-6326-1652

mgr inż. arch. Bartłomiej Ziarko¹⁾

ORCID: 0000-0002-8836-5586

The problem of noise generated during the use of garage parking platforms in residential buildings

Problem hałasu generowanego podczas użytkowania garażowych platform parkingowych w budynkach mieszkalnych

DOI: 10.15199/33.2024.10.03

Abstract. In this article, an analysis of the noise problem generated during the use of parking platforms located in the underground garage of a multi-family residential building is presented. Based on in-situ studies, it has been shown how significant the exceedance of permissible sound levels can be in protected rooms during the operation of improperly acoustically secured parking platforms. Repeat measurements taken after implementing of noise protection demonstrated that the potential to solve the issue of noise transmission from the platforms to residential units after their installation is very limited and ineffective if the building's structural design did not consider appropriate protections at design stage. The article discusses measurement procedures, obtained results, and the extent to which standards were exceeded, and proposes possible construction and structural solutions that should reduce the risk of parking platform noise being audible in acoustically protected rooms, such as living spaces.

Keywords: parking platforms; noise from technical equipment; structure-borne noise; housing.

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę problemu hałasu generowanego podczas użytkowania platform parkingowych zlokalizowanych w garażu podziemnym wielorodzinnego budynku mieszkalnego. Na podstawie badań in situ wykazano, jak duże przekroczenie dopuszczalnych poziomów dźwięku może występować w pomieszczeniach chronionych podczas eksploatacji nieodpowiednio zabezpieczonych akustycznie platform parkingowych. Wykonując powtórne pomiary po wprowadzeniu zabezpieczeń, wykazano, że możliwości rozwiązania problemu transmisji hałasu od platform do lokali mieszkalnych już po montażu platform są bardzo ograniczone i mało skuteczne, jeśli projekt konstrukcyjny budynku nie uwzględnił odpowiednich zabezpieczeń. W artykule omówiono procedury pomiarowe, uzyskane wyniki i skalę przekroczenia wymagań normowych oraz zaproponowano możliwe rozwiązania konstrukcyjno-budowlane, które powinny ograniczyć ryzyko słyszalności platform parkingowych w pomieszczeniach chronionych akustycznie, takich jak pomieszczenia mieszkalne.

Słowa kluczowe: platformy parkingowe; hałas od wyposażenia technicznego; dźwięki materiałowe; zabudowa mieszkaniowa.

The steadily increasing number of cars per capita, along with the dynamically developing real estate market, is causing a growing demand for parking spaces [1]. The challenge is not only parking in the city centre but also in residential estates, near office centres, or even on private properties when multiple vehicles are present within a household [2, 3]. The demand for parking spaces also stems from the requirements outlined in local zoning plans concerning the minimum number of parking spaces required for each apartment [4]. A solution to these problems, increasingly used by developers and architects in recent years, are **parking platforms** [5], typically located in single-level underground garages. These devices, utilising multi-level lifting systems, allow for the parking of more than one vehicle in the footprint of a typical single parking space. Parking platforms also enable the consolidation of all parking spaces on a single underground level, thus avoiding the need for

Stale rosnąca liczba samochodów przypadających na jednego mieszkańca, a także dynamicznie rozwijający się rynek nieruchomości, powodują coraz większe zapotrzebowanie na miejsca parkingowe [1]. Problematyczne okazuje się już nie tylko parkowanie w centrum miasta, ale również na osiedlach mieszkalnych, przy centrach biurowych, czy nawet na prywatnych posesjach, gdy w gospodarstwie domowym znajduje się kilka samochodów [2, 3]. Zapotrzebowanie na miejsca parkingowe wynika także z wymagań zawartych w lokalnych MPZP dotyczących minimalnej liczby miejsc parkingowych przypadających na jedno mieszkanie [4]. Rozwiązaniem tych problemów, chętnie w ostatnich latach stosowanym przez deweloperów i architektów, są tzw. **platformy parkingowe** [5], lokalizowane zazwyczaj w jednopiętrowych garażach podziemnych. Urządzenia te, dzięki wielopoziomowym systemom dźwigowym, pozwalają na parkowanie więcej niż jednego pojazdu na powierzchni typowego pojedynczego miejsca parkingowego. Platformy parkingowe pozwalają również skumulować wszystkie miejsca parkingowe na wysokości jednej kondygnacji podziemnej, czyli uniknąć konieczności wy-

¹⁾ Politechnika Krakowska

^{*)} Correspondence address: agata.szela@pk.edu.pl

much more expensive and legally complex multi-storey parking structures. From the perspective of construction law, parking platforms should be treated as elements of the technical equipment of buildings. Consequently, during their design, installation, and usage process, the requirements of the Regulation on technical conditions apply, particularly those outlined in Chapter IX, „Protection against noise and vibrations”, and in the referenced standard PN-B-02151-2 [8] from 1987. These requirements pertain to the permissible levels of noise generated by the building’s technical equipment.

This article discusses the issue of non-compliance with acoustical requirements in the context of noise generated by the movement of parking platforms and the transmission of this noise via building structure to the acoustically protected residential units located above. The parking platforms analysed in the article were located in a multi-storey residential building constructed using reinforced concrete technology. Before the handover of the works, the investor decided to check whether the solution he applied, involving the installation of two- and four-space parking platforms in the underground garage, would cause inconvenience for future residents of the apartments located on the ground floor, just above the garage ceiling. We were asked to conduct preliminary noise measurements in these units. The results of the measurements of the movement of parking platforms clearly indicated that the permissible noise levels were exceeded within the residential units. As a result, it was necessary to carry out detailed measurements, diagnose the problem, and provide the platform contractor with guidelines on how to eliminate or reduce the noise from the movements of the platforms audible in the apartments.

In the course of preparing the article, a review of journals and literature related to acoustics and noise measurements from parking platforms was conducted, and no articles addressing similar issues were found in either national or international publications. Articles specifically about parking platforms are also sporadic and mainly focus on optimising platform movement and automating the process of parking cars through intelligent control systems [6] or structural issues, including the stiffness of the platform in response to transverse forces, such as vehicle entry [7]. It is likely that the problem we encountered is a unique case, and typically installed platforms do not cause similar inconveniences. Nonetheless, the research approach described in the article and the analyses conducted can be successfully applied to measurements and diagnostics of noise from other technical building equipment.

Methodology of Research

To conduct an analysis of the noise levels in residential units located above a parking platform, one two-space platform and one four-space platform were selected for study. All platforms were fixed to the building's foundation slab and additionally anchored to the walls and ceiling above the garage. The

konywania dużo droższych i bardziej skomplikowanych formalnoprawnie parkingów wielokondygnacyjnych.

Z punktu widzenia Prawa budowlanego platformy parkingowe powinny być traktowane jako elementy wyposażenia technicznego budynków. W konsekwencji, podczas procesu ich projektowania, a następnie montażu i użytkowania, obowiązują wymagania Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych [4], a przede wszystkim wymagania określone w rozdziale IX „Ochrona przed hałasem oraz drganiami” i w powołanej tam normie PN-B-02151-2 [8] z 1987 r. Wymagania te dotyczą dopuszczalnych poziomów hałasu generowanego przez elementy wyposażenia technicznego budynku.

W artykule omówiono problem braku spełnienia tych wymagań w kontekście hałasu generowanego przez ruch platform parkingowych i transmisję tego hałasu drogą materiałową do zlokalizowanych wyżej pomieszczeń mieszkalnych chronionych akustycznie. Analizowane w artykule platformy znajdowały się w wielokondygnacyjnym budynku wielorodzinnym, wykonanym w technologii żelbetowej. Przed odbiorem prac inwestor postanowił sprawdzić, czy zastosowane przez niego rozwiązanie, polegające na montażu w garażu podziemnym dwu- i czterostanowiskowych platform parkingowych nie będzie powodowało uciążliwości dla przyszłych mieszkańców lokali leżących na parterze, zaraz nad stropem garażu. Zostaliśmy poproszeni o przeprowadzenie wstępnych pomiarów hałasu w tych lokalach. Wyniki pomiarów ruchu platform parkingowych wyraźnie wskazywały na przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu we wnętrzach lokali mieszkalnych, dlatego też konieczne było przeprowadzenie szczegółowych pomiarów, zdiagnozowanie problemu oraz przekazanie wykonawcy platform wytycznych, w jaki sposób można wyeliminować lub ograniczyć słyszalny w mieszkaniach hałas od ruchu platform.

W ramach opracowywania artykułu wykonano przegląd czasopism i literatury związanej z akustyką i pomiarami hałasu pochodzącego od platform parkingowych i nie znaleziono żadnych artykułów poruszających podobną problematykę ani w pozycjach krajowych, ani zagranicznych. Artykuły dotyczące samych platform parkingowych są również sporadyczne i dotyczą głównie problematyki optymalizacji ruchu platform i automatyzacji procesu parkowania aut przez inteligentne systemy nimi sterujące [6] albo problemów konstrukcyjnych, w tym związanych ze sztywnością samej platformy na siły poprzeczne, np. wjazd pojazdu [7]. Być może napotkany przez nas problem jest jednostkowym przypadkiem, a montowane typowo platformy nie powodują podobnych uciążliwości. Niemniej jednak opisane w artykule podejście badawcze oraz przeprowadzone analizy mogą być z powodzeniem zastosowane przy pomiarach i diagnostyce hałasu od innych urządzeń wyposażenia technicznego budynku.

Przedmiot i metodyka badań

Do przeprowadzenia analizy stopnia przenikania hałasu pomieszczeń mieszkalnych leżących powyżej platformy parkingowej wytypowano po jednej platformie dwustanowiskowej oraz czterostanowiskowej. Wszystkie były zamocowane do płyty fundamentowej budynku oraz dodatkowo mocowane

measurements were undertaken under three measurement conditions: S1, S2, and S3, which were intended to reflect a typical cycle of operation and usage for each platform:

- **S1 “Entry and exit of vehicles onto and from the platform”** – the entry of a car or cars to the upper level of the platform (in the case of the four-space platform, this would sequentially be the first and second car), and likewise, the exit of vehicles from the platform;

- **S2 “Movement of each platform without vehicle load”** – a two-stage full cycle of operation of an empty platform (movement up-down-up-down);

- **S3 “Movement of each platform with a full vehicle load”** – entry of a car or cars to the lower level of the platform, movement of the platform down, entry of car or cars to the upper level of the platform, followed by a two-stage full cycle of operation of a fully loaded platform (movement up-down-up-down), exit of vehicles from the upper level of the platform, movement of the platform up, and exit of vehicles from the lower level of the platform.

Sound levels were recorded both in the underground garage, at a distance of about 2 m from the platforms (reference measurements), and in the residential units situated on the subsequent higher floors (levels 0, +1, +2). Measurements were carried out continuously, using meters to simultaneously record sound levels and audio signals to facilitate later identification of the various phases of platform movement and potential issues. The location of the noise sources (parking platforms) and the measurement points situated in the higher apartments is depicted in Figure 1. Additionally, measurements of reverberation time were conducted in each of the rooms to enable potential later normalization of the recorded sound levels to the target reverberation time ($L_{Aeq,T}$) according to the PN-B-02151-2:2018 norm [9], which took effect from 1.08.2024. The results presented in this article are not normalized for reverberation time as

punktowo do ścian i stropu nad garażem. Badania wykonano w przypadku następujących trzech sytuacji pomiarowych S1, S2 i S3, które miały odzwierciedlać typowy cykl pracy i użytkowania każdej z platform:

- **S1 „wjazd i zjazd pojazdu na i z platformy”** – wjazd samochodu/samochodów na górny poziom platformy (w przypadku platformy czterostanowiskowej kolejno pierwsze i drugie auto), analogicznie wyjazd samochodu/samochodów z platformy;

- **S2 „ruch każdej z platform bez obciążenia samochodami”** – dwukrotny pełny cykl pracy pustej platformy (ruch góra-dół-góra-dół);

- **S3 „ruch każdej z platform z pełnym obciążeniem samochodami”** – wjazd samochodu/samochodów na dolny poziom platformy, ruch platformy w dół, wjazd samochodu/samochodów na górny poziom platformy, dwukrotny pełny cykl pracy w pełni obciążonej platformy (ruch góra-dół-góra-dół), wyjazd samochodu/samochodów z górnego poziomu platformy, ruch platformy w górę, wyjazd samochodu/samochodów z dolnego poziomu platformy.

Poziom dźwięku rejestrowano zarówno w garażu podziemnym, w odległości ok. 2 m od platform (pomiar referencyjne), jak i w lokalach mieszkalnych usytuowanych na kolejnych wyższych kondygnacjach (poziomy 0, +1 i +2). Pomiar wykonywano w sposób ciągły, rejestrując miernikami równoległe

poziom dźwięku i sygnał audio w celu umożliwienia późniejszej identyfikacji poszczególnych faz ruchu platform i potencjalnych problemów. Lokalizację źródeł hałasu (platform parkingowych) oraz punktów pomiarowych usytuowanych w leżących wyżej mieszkaniach przedstawiono na rysunku 1. W każdym z pomieszczeń wykonano ponadto pomiary czasu pogłosu, aby umożliwić ewentualną późniejszą normalizację zarejestrowanych poziomów dźwięku do docelowego czasu pogłosu ($L_{Aeq,T}$) wg normy PN-B-02151-2:2018 [9], która zaczęła obowiązywać od 1.08.2024 r. Wyniki przedstawione w artykule nie są normalizowane czasem po-

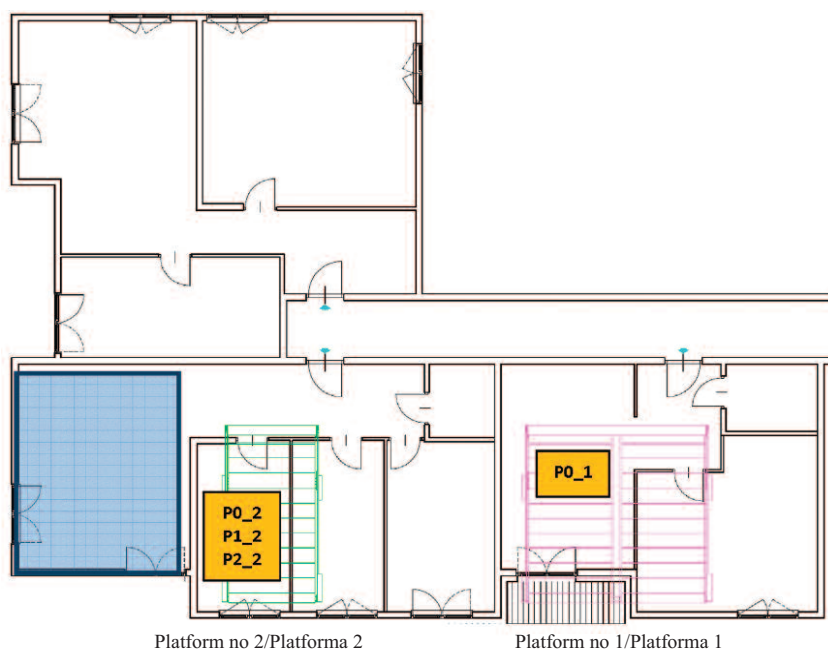


Fig. 1. On the plan of the repeatable ground floor (level 0), the locations of the receiving points are marked: P0_1 and P0_2 (points in the apartments on level 0), P1_2 (point in the apartment on level 1) and P2_2 (point in the apartment on level 2). The locations of the tested parking platforms are also schematically marked (Platform 1 – four-space; marked in pink, Platform 2 – two-space; marked in green) as well as the locations of the source zone and the receiving room (marked in blue) used for the acoustic insulation tests of the ceiling

Rys. 1. Rzut powtarzalnej kondygnacji parterowej (poziom 0) z naniesioną lokalizacją punktów odbiorczych: P0_1 i P0_2 (punkty w mieszkaniach na poziomie 0); P1_2 (punkt w mieszkaniu na poziomie 1); P2_2 (punkt w mieszkaniu na poziomie 2). Schematycznie zaznaczono również usytuowanie badanych platform parkingowych: Platforma 1 – czterostanowiskowa (kolor różowy); Platforma 2 – dwustanowiskowa (kolor zielony) oraz lokalizację strefy nadawczej i pomieszczenia odbiorczego (kolor niebieski) wykorzystywanych na potrzeby badań izolacyjności akustycznej stropu

they relate to the requirements of the applicable norm from 1987 [8], and given the fact that the apartments were unfurnished, contain the relevant fixed correction described in this norm. For all acoustic measurements, six Class 1 sound level meters of the type Fusion/BlackSolo/BlueSolo were simultaneously employed, and the measurement path was calibrated prior to measurements using a Class 1 acoustic calibrator from Norsonic.

In addition to sound level measurements, a standard measurement of airborne sound insulation of the structural floor separating the garage from the apartments directly above it (on the ground floor) was also conducted. This measurement was executed according to the methodology described in the PN-EN ISO 140-4:2000 standard, employing two source positions in the emitting room (the garage) and two mobile microphone positions in the receiving room (the apartment above). The Norsonic type Nor 276 omnidirectional sound source was used for measuring the acoustic insulation of the floor, along with the Nor 280 amplifier. In those sound insulation measurements, acoustic pressure levels were measured in third-octave bands, with a minimum averaging time for each measurement set at 30 seconds. Reverberation time in the receiving room was measured using an impulse source and room's impulse response. The sound insulation of the floor was essential for determining the contribution of airborne noise transmission to the overall energy flux penetrating from the garage resulting from the operation of car platforms to the acoustically protected residential units situated on higher floors. Figure 1 schematically marks the location of the transmission zone and the receiving room used for the acoustic insulation tests of the ceiling.

Measurement Results

Table 1 summarizes the sound level measurement results (noise) at the measurement points P0_1, P0_2, P1_2, and P2_2 located in individual residential units for the three consecutive measurement situations S1-S3. The article provides values for two noise level indicators, $L_{A,eq}$ and $L_{AS,max}$, in accordance with the requirements of the PN-B-02151-2:1987 norm [11] and the cited PN-B-02156:1987 norm, which describes the noise testing methods from the building's technical equipment. Additionally, Table 2 illustrates the measurement results in the form of values that exceed norm requirements [8]. The presented values of sound levels in Tables 1 – 2 account for the correction for acoustic absorption stipulated by the norm [11] for measurements in unfurnished rooms, as well as the correction for background noise, which was 0 dB in most cases. Measurement results that did not meet the requirements of the norm [8] during the night, given as $L_{A,eq} \leq 25$ dB and $L_{AS,max} \leq 30$ dB are marked in red in the tables, and the values that meet the standard are marked in green.

When analysing the research results, attention should be drawn to the fact that when comparing the obtained values of the parameter $L_{A,eq}$ against the requirements of the standard [8], the actual number of operating cycles of the platforms during the assessment time, which lasts 30 minutes at night,

głosu, gdyż odnoszą się do wymagań obowiązującej w czasie ich opracowywania normy z 1987 r. [8] i ze względu na fakt, że mieszkania nie były umeblowane, zawierają odpowiednią stałą korektę opisaną w tej normie. Do przeprowadzenia wszystkich pomiarów akustycznych wykorzystano jednocześnie sześć mierników poziomu dźwięku klasy 1 typu Fusion/BlackSolo/BlueSolo, a tor pomiarowy był wzorcowany przed pomiarami kalibratorem akustycznym klasy 1 Norsonic.

Oprócz pomiarów poziomu dźwięku przeprowadzono również standardowy pomiar izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych stropu oddzielającego garaż od mieszkań leżących bezpośrednio nad nim (na parterze). Pomiar wykonano zgodnie z metodyką opisaną w normie PN-EN ISO 140-4:2000 [10], stosując dwie pozycje źródła w pomieszczeniu nadawczym (garażu) oraz dwie pozycje mikrofonów ruchomych w pomieszczeniu odbiorczym (mieszkanie powyżej). Do pomiarów izolacyjności akustycznej stropu wykorzystano wszechkierunkowe źródło dźwięku Norsonic typu Nor 276 wraz ze wzmacniaczem typu Nor 280. W badaniu tym poziomy ciśnienia akustycznego mierzono w pasmach tercjowych, a czas uśredniania każdego pomiaru wynosił min. 30 s. Pomiar czasu pogłosu w pomieszczeniu odbiorczym wykonano, stosując źródło impulsowe i metodę pomiaru odpowiedzi impulsowej pomieszczenia. Pomiar izolacyjności akustycznej stropu był niezbędny do określenia udziału transmisji hałasu drogą powietrzną w całkowitym strumieniu energii przenikającej z garażu podczas użytkowania platform samochodowych do chronionych akustycznie lokali mieszkalnych usytuowanych na wyższych kondygnacjach. Na rysunku 1 zaznaczono schematycznie lokalizację strefy nadawczej oraz pomieszczenie odbiorcze wykorzystywane na potrzeby badań izolacyjności akustycznej stropu.

Wyniki pomiarów

W tabeli 1 zestawiono wyniki pomiarów poziomu dźwięku (hałasu) w punktach pomiarowych P0_1, P0_2, P1_2 i P2_2 zlokalizowanych w poszczególnych lokalach mieszkalnych w przypadku trzech kolejnych sytuacji pomiarowych S1-S3. W artykule podano wartości dwóch wskaźników poziomu hałasu, $L_{A,eq}$ oraz $L_{AS,max}$, zgodnie z wymaganiami obowiązującej w czasie wykonywania pomiarów normy PN-B-02151-2:1987 [8] i powołanej w niej PN-B-02156:1987 [11], opisującej metodę badań hałasu od wyposażenia technicznego budynku. W tabeli 2 zobrazowano dodatkowo wyniki pomiarów w formie wartości przekroczenia wymagań normy [8]. Przedstawione w tabelach 1 – 2 wartości poziomu dźwięku uwzględniają wymaganą przez normę [11] poprawkę na chłonność akustyczną stosowaną w przypadku pomiarów w pomieszczeniach nieumeblowanych oraz poprawkę na tło akustyczne, która wynosiła w większości przypadków 0 dB. Wyniki pomiarów, które nie spełniły wymagań normy [8] w porze nocnej, tj. $L_{A,eq} \leq 25$ dB i $L_{AS,max} \leq 30$ dB, zaznaczono w tabelach kolorem czerwonym, a wartości spełniające normę kolorem zielonym.

Przy analizie wyników badań należy zwrócić uwagę na fakt, że przy porównywaniu uzyskanych wartości parametru $L_{A,eq}$ z wymaganiami normy [8], nie uwzględniono rzeczywistej liczby cykli pracy platform we wskazanym w normie czasie

Table 1. Noise measurement results at measurement points P0_1, P0_2, P1_2 and P2_2 for the movement of both analysed platforms and three analysed measurement situations S1, S2 and S3

Tabela 1. Wyniki pomiarów hałasu w punktach pomiarowych P0_1, P0_2, P1_2 i P2_2 w przypadku ruchu obu analizowanych platform i trzech analizowanych sytuacji pomiarowych S1, S2 i S3

The values of the $L_{A,eq}$ [dB] after taking into account the correction for background noise and the acoustic absorption of the room/ Wartości wskaźnika $L_{A,eq}$ [dB] po uwzględnieniu korekcji na tło i chłonność akustyczną pomieszczenia												
Measuring point/Punkt pomiarowy	P0_1			P0_2			P1_2			P2_2		
Measuring situation/Sytuacja pomiarowa	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Platform no 1/Platforma 1	23	38	39	23	49	56	19	44	46	17	41	39
Platform no 2/Platforma 2	21	36	38	29	48	53	25	44	45	20	39	40

The values of the $L_{AS,max}$ [dB] after taking into account the correction for background noise and the acoustic absorption of the room/ Wartości wskaźnika $L_{AS,max}$ [dB] po uwzględnieniu korekcji na tło i chłonność akustyczną pomieszczenia												
Measuring point/Punkt pomiarowy	P0_1			P0_2			P1_2			P2_2		
Measuring situation/Sytuacja pomiarowa	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Platform no 1/Platforma 1	33	44	47	34	57	66	32	53	56	28	48	52
Platform no 2/Platforma 2	30	47	50	36	55	62	34	53	54	27	52	55

Results that do not meet the requirements of the PN-B-02151-2:1987 standard [8] for the night time, ≤ 25 dB and ≤ 30 dB are marked in red, results that comply with the requirements of the standard are marked in green/Oznaczenia: kolor czerwony – wyniki, które nie spełniają wymagań normy PN-B-02151-2:1987 [8] dla pory nocnej; kolor zielony – wyniki zgodne z wymaganiami normy

Table 2. Values of exceedances of noise levels at measurement points P0_1, P0_2, P1_2 and P2_2 for the movement of both analysed platforms and three analysed measurement situations S1, S2 and S3

Tabela 2. Wartości przekroczenia poziomu hałasu w punktach pomiarowych P0_1, P0_2, P1_2 i P2_2 w przypadku ruchu obu analizowanych platform i trzech analizowanych sytuacji pomiarowych S1, S2 i S3

Values exceeding the requirements of the $L_{A,eq}$ [dB]/Wartości przekroczenia wymagań wskaźnika $L_{A,eq}$ [dB]												
Measuring point/Punkt pomiarowy	P0_1			P0_2			P1_2			P2_2		
Measuring situation/Sytuacja pomiarowa	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Platform no 1/Platforma 1	-2	+13	+14	-2	+24	+31	-6	+19	+21	-8	+16	+14
Platform no 2/Platforma 2	-4	+11	+13	+4	+23	+28	0	+19	+20	-5	+14	+15

Values exceeding the requirements of the $L_{AS,max}$ [dB]/Wartości przekroczenia wymagań wskaźnika $L_{AS,max}$ [dB]												
Measuring point/Punkt pomiarowy	P0_1			P0_2			P1_2			P2_2		
Measuring situation/Sytuacja pomiarowa	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Platform no 1/Platforma 1	+3	+14	+17	+4	+17	+36	+2	+23	+26	-2	+18	+22
Platform no 2/Platforma 2	0	+17	+20	+6	+15	+32	+4	+23	+24	-3	+22	+25

Results that do not meet the requirements of the PN-B-02151-2:1987 standard [8] for the night time are marked in red, results that comply with the requirements of the standard are marked in green/Oznaczenia: kolor czerwony – wyniki, które nie spełniają wymagań normy PN-B-02151-2:1987 [8] dla pory nocnej; kolor zielony – wyniki zgodne z wymaganiami normy

was not taken into account. It was assumed that the measured value of the sound level must meet the requirement regardless of the duration of the equipment's operating cycle. This stemmed from the inability to verify the actual number of cycles, as the building had not yet been handed over for use and made available to the residents. This does not apply to the values of $L_{AS,max}$ as they are not dependent on the assessment time.

Analysing the results compiled in tables 1 – 2, it was found that **nearly all measured values exceed the permissible noise levels** specified in [8]. The largest exceedances occur in the measurement situation S3, that is during the movement of each platform under full load from vehicles. In situation S3, the equivalent sound level values $L_{A,eq}$ were higher than the permissible levels at night by +31 dB, and in the case of the maximum levels $L_{AS,max}$, exceedances reached +36 dB. For the

oceny trwającym w porze nocnej 30 min. Przyjęto, że zmierzona wartość poziomu dźwięku ma spełniać wymaganie bez względu na czas trwania cyklu pracy urządzenia. Wynikało to z braku możliwości sprawdzenia rzeczywistej liczby cykli pracy platform, gdyż budynek nie był jeszcze oddany do użytkowania i udostępniony mieszkańcom. Nie dotyczy to wartości $L_{AS,max}$, gdyż nie są one zależne od czasu oceny.

Analizując wyniki zestawione w tabelach 1 – 2, stwierdzono, że **niemal wszystkie zmierzone wartości przekraczają dopuszczalne poziomy hałasu** określone w [8]. Największe przekroczenia występują w przypadku sytuacji pomiarowej S3, czyli podczas ruchu każdej z platform z pełnym obciążeniem samochodami. W sytuacji S3 wartości równoważnego poziomu dźwięku $L_{A,eq}$ są większe od dopuszczalnych w porze nocnej o +31 dB, a w przypadku poziomu maksymalnego $L_{AS,max}$ przekroczenia sięgają +36 dB. W przypadku ruchu plat-

movement of platforms without vehicle loading (measurement situation S2), the exceedances of the standard requirements were +24 dB for the $L_{A,eq}$ indicator and +27 dB for the $L_{AS,max}$ indicator, which are slightly lower than during the movement of platforms loaded with vehicles. The exceedances of the permissible sound level in residential premises in measurement situation S1, however, are much smaller than in the case of platform movement, reaching for $L_{A,eq}$ up to +4 dB, and for $L_{AS,max}$ up to +6 dB, but the standard requirements [8] are still not met.

To better illustrate how the recorded sound level in flats changes during various phases of the platforms' operation, figure 2 presents sample time courses of the parameter $L_{A,eq}$ at the four analysed measurement points during the operation of platform 1 in measurement situation S3. Analysing the presented curves, separate phases of the platform's operation can be observed:

- lifting (maintaining the highest sound levels, especially after fully loading the platform);
- lowering (clearly the quietest phases of operation);
- entry/exit of vehicles onto/from the platform (longer disturbances with a non-homogeneous course).

As shown in figure 2, the background noise level in the recipient rooms was 17 – 20 dB, which was on the border of the inherent noise of the sound meters used. At such a low background level, it is certain that future residents will clearly hear the noise from the parking platforms in their flats.

Another conclusion that can be drawn from the analysis of the measurement results compiled in tables 1 – 2 concerns the transmission of noise generated by parking platforms to higher floors of the building. Noise exceedances occur not only at level 0, which directly neighbours the garage (level -1), but also on further upper floors. Of course, the higher the floor, the lower the sound level by several decibels, but it is still too high to meet the standard requirements [8]. The conclusion from the presented results is as follows: **noise generated by parking platforms can penetrate through buildings over considerable distances.** In the following chapter, an analysis was conducted to determine which path (airborne or material) is responsible for this process.

form bez obciążenia samochodami (sytuacja pomiarowa S2) przekroczenia wymagań normowych wynoszą +24 dB w przypadku wskaźnika $L_{A,eq}$ oraz +27 dB – wskaźnika $L_{AS,max}$, czyli są nieznacznie mniejsze niż podczas ruchu platform obciążonych samochodami. Przekroczenia dopuszczalnego poziomu dźwięku w lokalach mieszkalnych w sytuacji pomiarowej S1 są jednak dużo mniejsze, niż w przypadku ruchu platform i wynoszą dla $L_{A,eq}$ do +4 dB, a dla $L_{AS,max}$ do +6 dB, ale wymagania normowe [8] nadal nie są spełnione.

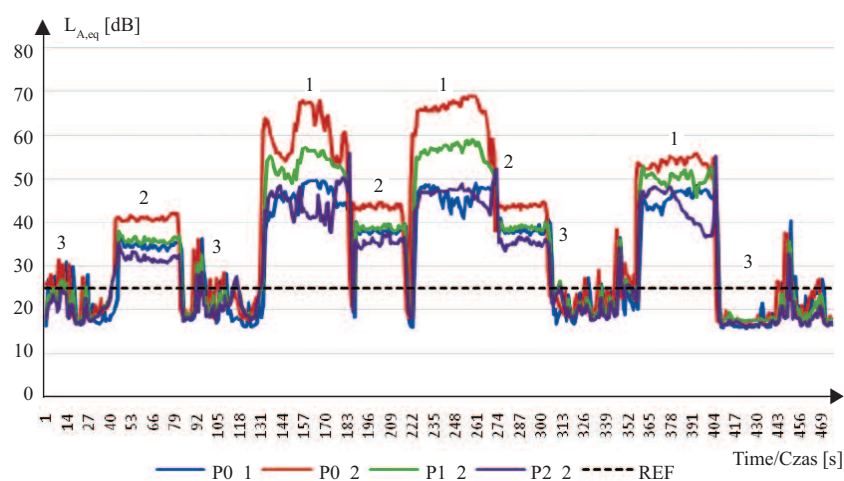
W celu lepszego zobrazowania, jak kształtuje się rejestrowany poziom dźwięku w mieszkaniach podczas poszczególnych faz pracy platform, na rysunku 2 przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe parametru $L_{A,eq}$ w czterech analizowanych punktach pomiarowych podczas ruchu platformy 1 w sytuacji pomiarowej S3. Analizując zaprezentowane krzywe, można zaobserwować odrębne fazy pracy platformy:

- podnoszenie (utrzymujące się najwyższe poziomy dźwięku, szczególnie po pełnym obciążeniu platformy);
- obniżanie (wyraźnie najcichsze fazy pracy);
- wjazd/zjazd pojazdów na/z platformy (dłuższe zaburzenia o niejednorodnym przebiegu).

Jak wynika z rysunku 2, poziom tła akustycznego w pomieszczeniach odbiorczych wynosił 17 – 20 dB, czyli był na granicy szumów własnych wykorzystanych mierników akustycznych. Przy tak niskim poziomie tła pewne jest, że przyszli mieszkańcy będą wyraźnie słyszeć hałas platform parkingowych w swoim mieszkaniu.

Kolejny wniosek, jaki można sformułować na podstawie analizy wyników pomiarów, zestawionych w tabelach 1 – 2, dotyczy transmisji hałasu generowanego przez platformy parkingowe na dalsze kondygnacje budynku. Przekroczenia hałasu występują bowiem nie tylko na poziomie 0, który sąsiaduje bezpośrednio z garażem (poziom 1), ale również na kolejnych wyższych kondygnacjach.

Oczywiście im wyższa kondygnacja, tym poziom dźwięku jest niższy o kilka decybeli, ale nadal zbyt wysoki, aby spełnić wymagania normowe [8]. Wniosek z prezentowanych wyników jest następujący: **generowany przez platformy parkingowe hałas może przenikać w budynkach na znaczne odległości.** W kolejnym rozdziale przeanalizowano, jaka droga (powietrzna czy materiałowa) jest odpowiedzialna za ten proces.



Designations of the movement phases: 1 – lifting the platform, 2 – lowering the platform, 3 – entry/exit of vehicles onto/off the platform/Oznaczenia faz ruchu: 1 – podnoszenie platformy; 2 – obniżanie platformy; 3 – wjazd/zjazd pojazdów na/z platformy
Fig. 2. Time histories of the $L_{A,eq}$ parameter at the four analyzed measurement points during the movement of platform 1 in the S3 measurement situation “movement of the platform with a full load of vehicles” against the background of the standard requirements for the night time (REF)

Rys. 2. Przebiegi czasowe parametru $L_{A,eq}$ w czterech analizowanych punktach pomiarowych podczas ruchu platformy 1 w sytuacji pomiarowej S3 „ruch platformy z pełnym obciążeniem samochodami” na tle wymagań normowych dla pory nocnej (REF)

Diagnostics of Excessive Noise

The research results presented in the previous chapter confirmed the problem of excessive noise generated in residential premises due to the movement and use of parking platforms. Further work therefore attempted to determine the possible causes of the situation. Firstly, it was **verified whether the transmission of noise occurs mainly by airborne or material means**. For this purpose, acoustic insulation measurements from airborne sounds of the floor located between the garage (level -1) and the ground floor (level 0) were made in a slightly different area than the noise transmission measurements from the platforms themselves. The selected research location was expected to yield the largest contribution of lateral transmission from the garage zone to the residential floors, which subsequently influenced the lowest (safe for analysis) values of acoustic insulation of the ceiling. The acoustic insulation from airborne sounds of the tested ceiling was $R'_{A1} = 61 \text{ dB} (\pm 1.8 \text{ dB})$ [12, 15], complying with the requirements of the standard PN-B-0251-3:2015-10 [13], which states $R'_{A1} \geq 58 \text{ dB}$. The graph of acoustic insulation of the floor as a function of frequency is shown in Figure 3. The floor was made as a reinforced concrete structure, 25 cm thick, insulated from beneath with mineral wool of disturbed fibre structure 10 cm thick, finished from above with a classic floating floor with an elastic layer of 30 mm thick expanded polystyrene and a screed of 60 mm thick.

Partition/Przegroda:

25 cm reinforced concrete ceiling with floating floor and mineral wool insulation with disturbed fiber arrangement/strop żelbetowy grubości 25 cm z podłogą pływającą i ociepleniem wełną mineralną o zaburzonym układzie włókien

f [Hz]	R' [dB]
100	42,0
125	42,9
160	43,4
200	54,3
250	53,6
315	56,2
400	57,7
500	61,7
630	64,5
800	67,1
1000	68,0
1250	69,9
1600	71,1
2000	72,5
2500	74,2
3150	76,3

Apparent sound reduction index R' [dB]/Izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona R' [dB]



index according to the standard PN-EN ISO 717-1: $R'_w = (C, C_w) = 64(-3; -8) \text{ dB}$; $R'_{A1} = 61 \text{ dB}$; $R'_{A2} = 56 \text{ dB}$ /wskaźnik zgodnie z PN-EN ISO 717-1: $R'_w = (C, C_w) = 64(-3; -8) \text{ dB}$; $R'_{A1} = 61 \text{ dB}$; $R'_{A2} = 56 \text{ dB}$

Fig. 3. Measured sound insulation as a function of frequency for the ceiling between the garage and the apartment above

Rys. 3. Zmierzona izolacyjność akustyczna stropu pomiędzy garażem a mieszkaniem powyżej w funkcji częstotliwości

Diagnostyka nadmiernego hałasu

Przedstawione wyniki badań w poprzednim rozdziale potwierdziły problem występowania nadmiernego hałasu generowanego w lokalach mieszkalnych przez ruch i użytkowanie platform parkingowych. Podczas dalszych prac podjęto więc próbę określenia możliwych przyczyn zaistniałej sytuacji. W pierwszej kolejności **zweryfikowano, czy transmisja hałasu odbywa się głównie drogą powietrzną czy materiałową**. W tym celu wykonano pomiary izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych stropu znajdującego się pomiędzy garażem (poziom -1) a parterem (poziom 0) w nieco innym obszarze niż pomiary transmisji hałasu od samych platform. W wytypowanej do badań lokalizacji spodziewano się bowiem największego udziału przenoszenia bocznego ze strefy garażowej do kondygnacji mieszkalnych, co w konsekwencji wpływało na najniższe (bezpieczne na potrzeby analizy) wartości izolacyjności akustycznej stropu. Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych testowanego stropu wyniosła $R'_{A1} = 61 \text{ dB} (\pm 1,8 \text{ dB})$ [12, 15], co spełnia wymagania normy PN-B-0251-3:2015-10 [13] wynoszące $R'_{A1} \geq 58 \text{ dB}$. Wykres izolacyjności akustycznej stropu w funkcji częstotliwości pokazano na rysunku 3. Strop wykonano jako żelbetowy, grubości 25 cm, ocieplony od spodu wełną mineralną o zaburzonym układzie włókien grubości 10 cm, wykończony od góry klasyczną podłogą pływającą z warstwą elastyczną ze styropianu elastyfikowanego grubości 30 mm oraz wylewką grubości 60 mm.

Comments/Uwaga:

ceiling separating garage from living room/strop oddzielający garaż od pokoju mieszkalnego
– source room in platform area/pomieszczenie nadawcze w obszarze platformy
– receiving room in room/pomieszczenie odbiorcze w pokoju

In order to verify the actual impact of noise transmission through the ceiling via airborne sound, an additional analysis was conducted. First, the theoretical noise level expected in the residential area during platform operation was determined, assuming the sound only travelled through the floor via airborne transmission. This level was calculated as the difference between the noise level measured in the garage during platform movement and the acoustic insulation of the ceiling, using the measured level difference D in the respective third-octave bands as the ceiling's acoustic insulation. Then, this level was compared with the measured noise spectrum, also in third-

octave bands, at measurement point P0_2 (a ground-floor flat directly above platform no. 2). The results of this analysis are shown in Figure 4. They indicate that the sound level measured in the residential area (at point P0_2) across almost the entire frequency range (and certainly in the key range where the high levels of airborne sound from the

platform's movement dominate) is significantly higher than the calculations based solely on airborne sound transmission through the floor would suggest. Therefore, it can be concluded that the primary route of noise transmission from the parking platforms to the flats is via structural transmission. To solve the problem of excessive noise in residential spaces, it is necessary to use vibration isolation for the components of the parking platforms, including compressors, structural elements, and the hydraulic control system's installation components.

The applied measures and their impact on noise reduction

Based on the results of the conducted tests, site inspections, and discussions with the parking platform supplier, the following corrective actions were undertaken to minimize the excessive noise generated by the platforms:

- two compressors servicing the platforms were moved to a separate room located on level -2;
- all compressor pumps were replaced with quieter models;
- all compressors were mounted on vibration-isolation springs selected according to the mass of the equipment to achieve a resonant frequency of about 5 Hz;

W celu zweryfikowania, jaki w rzeczywistości wpływ może mieć przenikanie hałasu przez strop drogą powietrzną, wykonano dodatkową analizę. Najpierw wyznaczono, jaki poziom hałasu powinien teoretycznie występować w lokalu mieszkalnym w czasie pracy platformy, jeśli dźwięk przenikałby tylko drogą powietrzną przez strop. Poziom ten obliczono jako różnicę pomiędzy poziomem hałasu zmierzonym w garażu podczas ruchu platformy a izolacyjnością akustyczną stropu, przyjmując jako izolacyjność akustyczną stropu zmierzoną różnicę poziomów D w poszczególnych pasmach tercjowych. Następnie poziom ten porównano ze zmierzonym, również w pasmach tercjowych, widmem hałasu w punkcie pomiarowym P0_2 (lokal na parterze zlokalizowany bezpośrednio nad platformą nr 2). Wyniki tej analizy przedstawiono na rysunku 4. Wskazują one, że zmierzony w lokalu mieszkalnym (punkt P0_2) poziom dźwięku niemal w całym zakresie częstotliwości (a na pewno w całym istotnym zakresie, gdzie dominują wysokie poziomy dźwięków powietrznych ruchu samej platformy) jest znacznie wyższy, niż wynika

z obliczeń uwzględniających tylko powietrzną transmisję dźwięku przez strop. Należy zatem wnioskować, że **główną drogą transmisji hałasu od platform parkingowych do mieszkań jest droga materiałowa. W celu rozwiązania problemu nadmiernego hałasu w pomieszczeniach mieszkalnych konieczna jest wibroizolacja elementów układu platform parkingowych, w tym sprężarek, elementów konstrukcyjnych i elementów instalacyjnych systemu hydraulicznego sterowania platform.**

z obliczeń uwzględniających tylko powietrzną transmisję dźwięku przez strop. Należy zatem wnioskować, że **główną drogą transmisji hałasu od platform parkingowych do mieszkań jest droga materiałowa. W celu rozwiązania problemu nadmiernego hałasu w pomieszczeniach mieszkalnych konieczna jest wibroizolacja elementów układu platform parkingowych, w tym sprężarek, elementów konstrukcyjnych i elementów instalacyjnych systemu hydraulicznego sterowania platform.**

Zastosowane zabezpieczenia i ich wpływ na redukcję hałasu

Bazując na wynikach przeprowadzonych badań, wizji lokalnej oraz ustaleniach z dostawcą platform parkingowych podjęto następujące działania naprawcze, mające na celu minimalizację nadmiernego hałasu generowanego przez platformy:

- przeniesiono dwie sprężarki obsługujące platformy do osobnego pomieszczenia zlokalizowanego na poziomie -2;
- wymieniono pompy we wszystkich sprężarkach na cichsze;
- zamontowano wszystkie sprężarki na sprężynach wibroizolacyjnych dobranych do masy urządzenia, tak aby osiągnąć częstotliwość rezonansową ok. 5 Hz;
- wymieniono wszystkie sztywne uchwyty montażowe instalacji hydraulicznej na elementy z materiałem o właściwościach tłumienia drgań;

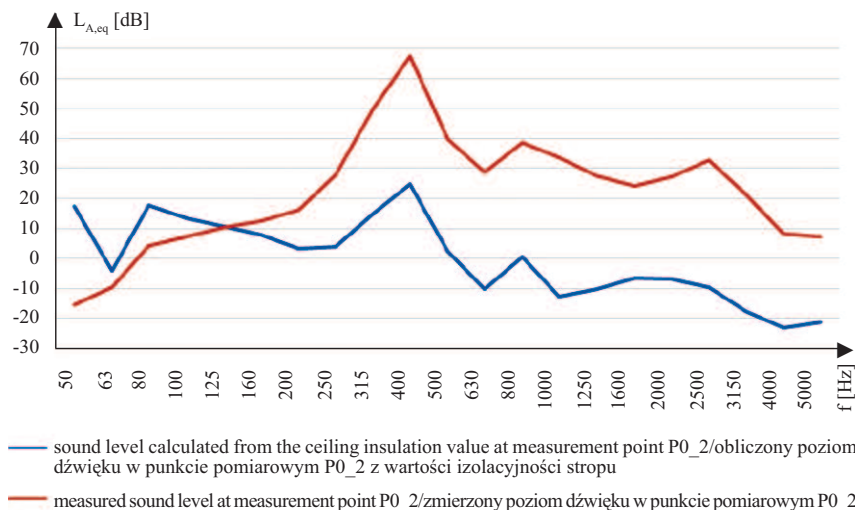


Fig. 4. Noise spectrum at measuring point P0_2 during the upward movement of the loaded platform

Rys. 4. Widmo hałasu w punkcie pomiarowym P0_2 podczas ruchu w górę obciążonej platformy

- all rigid mounting brackets for the hydraulic system were replaced with components made from vibration-damping materials;

- the joints of selected technical components of the platform system were sealed and/or separated from the building structure.

Unfortunately, due to the stage of construction and the limited height of the garage level, it was not possible to apply vibration isolation at the interface between the platform structure and the garage foundation slab. Nor was it feasible to isolate most rigid connections between the platform structure and the garage walls and ceiling. After implementing the remaining recommended acoustic safeguards for the parking platforms, all tests were repeated. Table 3 shows the acoustic measurement results for platform 1, obtained before and after the measures were applied

- uszczelniono i/lub oddylatowano styki wybranych elementów technicznych systemu platform od konstrukcji budynku.

Stan zaawansowania prac budowlanych oraz ograniczenia w dostępnej wysokości kondygnacji garażowej nie dawał niestety możliwości wykonania wibroizolacji styku pomiędzy konstrukcją platform a płytą fundamentową garażu. Nie było również możliwości wibroizolacji większości sztywnych połączeń konstrukcji platform ze ścianami i stropem garażu. Po wykonaniu pozostałych zaleconych zabezpieczeń akustycznych platform parkingowych przeprowadzono ponownie wszystkie badania. W tabeli 3 zestawiono wyniki pomiarów akustycznych w przypadku platformy 1 uzyskane przed i po wykonaniu zabezpieczeń w punkcie pomiarowym P0_1. Analizując przedstawione wyniki, stwierdzono, że zastosowane zabezpieczenia akustyczne pozwoliły na znaczne obniżenie poziomu hałasu transmitowanego do mieszkań od platformy 1, przede wszyst-

Table 3. Comparison of test results before and after the implementation of acoustic protection of platforms on the example of platform 1 and measurement point P0_1

Tabela 3. Porównanie wyników badań przed i po wykonaniu zabezpieczeń akustycznych platform na przykładzie platformy 1 i punktu pomiarowego P0_1

Measuring situation/ Sytuacja pomiarowa	Measured parameter/ Mierzony wskaźnik	The value of the parameter during measurements/ Wartość wskaźnika podczas badań		Exceeding the norm PN-B-02151-02:1987 [8]/ Przekroczenia normy PN-B-02151-02:1987 [8]	
		initial state/ stan wyjściowy	state with safeguards/ stan z zabezpieczeniami	initial state/ stan wyjściowy	state with safeguards/ stan z zabezpieczeniami
S1	$L_{A,eq}$ [dB]	23	23	-2	-2
	$L_{AS,max}$ [dB]	33	34	+3	+4
S2	$L_{A,eq}$ [dB]	38	28	+13	+3
	$L_{AS,max}$ [dB]	47	44	+17	+14
S3	$L_{A,eq}$ [dB]	39	31	+14	+6
	$L_{AS,max}$ [dB]	47	39	+17	+9

Results that do not meet the requirements of the PN-B-02151-2:1987 standard [8] for the night time are marked in red, results that comply with the requirements of the standard are marked in green/Oznaczenia: kolor czerwony – wyniki, które nie spełniają wymagań normy PN-B-02151-2:1987 [8] dla pory nocnej; kolor zielony – wyniki zgodne z wymaganiami normy

at measurement point P0_1. Analyzing the presented results, it was found that the applied acoustic safeguards significantly reduced the noise transmitted to the flats from platform 1, especially when it was operating under full load with vehicles. However, the applied solutions did not allow to meet the requirements specified in the standard, as excessive noise levels persisted in all analyzed flats [8]. Similar results were obtained for the second platform and the remaining measurement points.

Discussion

The sound level analysis presented in Figure 2, recorded simultaneously across various floors of the building, shows that the noise from the platforms decreases as the distance from the garage level increases. The higher the flat is located, the less audible the platform movement becomes, due to the vibration dampening provided by the building structure itself. Noise transmission occurs primarily through structural elements, meaning that even designing a commercial area at ground level as a sort of „acoustic buffer” may not be sufficient in situations

kim w sytuacji, gdy porusza się ona pod pełnym obciążeniem samochodami. Niemniej jednak zastosowane rozwiązania nie pozwoliły na spełnienie wymagań, gdyż we wszystkich analizowanych mieszkaniach nadal występowało przekroczenie dopuszczalnych poziomów hałasu [8]. Zbliżone wyniki uzyskano dla drugiej platformy i pozostałych punktów pomiarowych.

Dyskusja

Z przedstawionej na rysunku 2 analizy poziomów dźwięku zarejestrowanych równolegle na kolejnych piętrach budynku wynika, że hałas od platform maleje wraz z oddalaniem się od kondygnacji garażu. Im wyżej zlokalizowane mieszkanie, tym słyszalność ruchu platformy jest mniejsza, co wynika z tłumienia poziomu drgań przez samą konstrukcję budynku. Transmisja hałasu następuje głównie drogą materiałową, a zatem nawet zaprojektowanie kondygnacji usługowej na poziomie parteru, jako swego rodzaju „bufora akustycznego”, może nie być wystarczające w sytuacji podobnie hałasujących platform oraz zbliżonego układu konstrukcyjnego budynku, jak w opisywanym przypadku.

involving similarly noisy platforms and a building structure layout like the one described.

The analyses performed allowed for the identification of several components in the platform's operating cycle that caused the greatest exceedances of noise limits. One of these was the loud, heavily vibrating pumps in the hydraulic compressors, essential for moving such heavy elements as platforms loaded with cars. Installing the compressors on vibration-isolating mounts eliminated the problem of structural noise transmission and its audibility in the flats, aided by relocating them to a lower garage level, farther from the flats. Another element in the platform's operating cycle that could not be eliminated was the impact noise when the platform reached the end points of its movement, both upward and downward. Unfortunately, the inability to separate the platform from the building structure prevented the reduction of this noise, as shown in Table 3. The applied safeguards significantly reduced the exceedances of the required value in terms of the $L_{A,eq}$ parameter (by -8 to -10 dB), but only slightly reduced the maximum levels described by the $L_{AS,max}$ parameter (by -1 to -3 dB). Only in the S3 measurement scenario (platform operating under full load) did the $L_{AS,max}$ parameter decrease by as much as -8 dB after the safeguards were applied, due to the substantial contribution of continuous structural noise from the compressor, which was completely eliminated by the measures.

The ceiling's sound insulation R'_{A1} , measured at 61dB, allows for effective isolation of airborne noise from the garage to the residential areas, confirming that the standard requirement [13, Table 3] is sufficient even when parking platforms are installed. However, the lack of understanding in the construction market of the coexistence of regulations regarding the acoustic insulation of partitions and the permissible noise levels in residential areas, where noise from the building's technical equipment penetrates, appears to be a significant issue. Both of these requirements impact the acoustic standards related to building partitions. An example of this is the requirement set out in the 1987 standard [8, Table 2], referenced in the Technical Conditions [4], regarding the permissible maximum sound level A measured at a distance of 1 metre from the lift machinery room's drive system, which must not exceed 65 dB. In all cases where the authors have encountered issues with the audibility of lift operation in residential buildings, the lift supplier always referred to compliance with this specified requirement, completely ignoring the fact that the same standard, in a different table [8, Table 1], also contains requirements concerning the permissible sound levels transmitted to residential rooms from the building's technical equipment.

The need for a better understanding of acoustic issues among participants in the construction process is becoming increasingly apparent as housing prices rise and buyers expectations regarding comfort grow. In the case of parking platforms, the supplier had not previously encountered such significant acoustic problems. We do not know whether this was due to different construction conditions or equipment

Wykonane analizy pozwoliły na identyfikację wielu elementów cyklu pracy platform, powodujących największe przekroczenia wymagań. Jednym z nich były głośne i bardzo mocno drgające pompy w sprężarkach hydraulicznych, niezbędne do wprowadzenia w ruch tak ciężkich elementów, jak platformy obciążone samochodami. Posadowienie sprężarek na wibroizolacji wyeliminowało problem transmisji drgań drogą materiałową oraz ich słyszalność w mieszkaniach, choć pomogła w tym jednoczesna ich relokacja na jeszcze niższy poziom garażu, dalej od mieszkań. Kolejnym elementem cyklu pracy platform, którego wyeliminowanie nie było możliwe, były uderzenia platformy o elementy krańcowe, przy zakończeniu ruchu platformy zarówno w dół, jak i w górę. Niestety brak możliwości odseparowania platformy od konstrukcji budynku nie pozwolił na redukcję tych odgłosów, co jest widoczne w wynikach zaprezentowanych w tabeli 3. Zastosowane zabezpieczenia znacznie zmniejszyły przekroczenia wymaganej wartości w zakresie parametru $L_{A,eq}$ (od -8 do -10 dB), natomiast jedynie w nieznacznym stopniu obniżyły wartości poziomów maksymalnych opisanych parametrem $L_{AS,max}$ (od -1 do -3 dB). Tylko w sytuacji pomiarowej S3 (praca platformy przy pełnym obciążeniu), parametr $L_{AS,max}$ zmniejszył się po zastosowaniu zabezpieczeń aż o -8 dB, co wynikało z dużego udziału w tym parametrze ciągłego hałasu materiałowego pracy sprężarki, która to składowa hałasu uległa całkowitej redukcji po zastosowaniu zabezpieczeń.

Izolacyjność akustyczna stropu R'_{A1} wynosząca 61dB pozwala na dobre odseparowanie hałasów powietrznych, występujących w garażu, od pomieszczeń mieszkalnych. To potwierdza, że wymagania normowe [13, tabela 3] jest wystarczające również w sytuacji montażu platform parkingowych. Niemniej jednak problemem wydaje się brak zrozumienia na rynku budowlanym współistnienia w przepisach wymagań dotyczących izolacyjności akustycznej przegród oraz określających dopuszczalne poziomy hałasu w pomieszczeniach, do których przenika hałas od urządzeń wyposażenia technicznego budynku. Oba te wymagania wpływają natomiast na wymagania akustyczne dotyczące przegród budowlanych w budynku. Przykładem tego jest wymaganie zapisane w normie z 1987 r. [8, tablica 2] powołane w Warunkach technicznych [4], dotyczące dopuszczalnego maksymalnego poziomu dźwięku A mierzonego w odległości 1 m od zespołu napędowego maszynowni windy, który nie może przekraczać 65 dB. We wszystkich przypadkach, kiedy w swojej praktyce zawodowej zetknęliśmy się z problemami ze słyszalnością pracy windy w budynkach mieszkalnych, dostawca windy zawsze powoływał się na spełnienie przez zamontowane przez niego urządzenie dźwigowe wymienionego zapisu, zupełnie ignorując fakt istnienia wymagań wskazanych w tej samej normie, tylko w innej tablicy [8, tablica 1], dotyczących dopuszczalnych poziomów dźwięku przenikającego do pomieszczeń mieszkalnych od urządzeń wyposażenia technicznego.

Potrzeba lepszego zrozumienia zagadnień akustycznych przez uczestników procesu budowlanego staje się coraz bardziej widoczna wraz ze wzrostem cen mieszkań i poziomu oczekiwań ich nabywców dotyczących komfortu. W omawianym przypadku platform parkingowych, dostawca platform nie doświadczył wcześniej zbliżonej skali problemów akustycznych. Nie wiemy, czy wynikało to z innych warunków

choices that prevented the transmission of vibrations to the extent it did in this case, or whether it was simply a lack of feedback on such issues, as they never escalated into formal claims.

In our opinion, when designing parking platforms in multi-family residential buildings, it is essential, much like when designing lift shafts adjacent to flats, to ensure that the building's structure fully separates the platform structure from the building itself. This can be achieved in two ways. The first involves the use of a **horizontal expansion joint filled with elastomeric vibration-isolating material, located beneath the ceiling of the first residential floor**, typically between the underground garage and the residential floors above. This solution allows the platforms to be installed in the traditional way, i.e., directly to the garage slab and the building's structural walls, while ensuring that no vibrations or noise are transmitted through the structure to the residential floors above. This method is often used in buildings located along railway lines to prevent the transmission of vibrations from passing trains [14]. In the case of train-induced vibration issues, this solution is also much cheaper than isolating the entire foundation slab, as the amount of elastomer placed between the walls and the ceiling is small compared to the area required to cover the entire foundation slab. The first solution would also be cheaper to implement for platforms than the second, which involves creating an additional vibration-isolated reinforced concrete "floating" structure within the garage level to which the parking platforms are attached. Both of these solutions, of course, require close cooperation with the structural designer, and the second also necessitates selecting the platform supplier at the building's design stage.

Summary

The article presents measurement methods and the diagnosis of noise causes generated during the use of parking platforms located in the underground garage of a multi-family residential building, which transmit into residential areas through structural elements. Based on in situ studies, it was shown that noise levels exceeding the permissible limits in protected rooms during the operation of inadequately acoustically secured parking platforms amounted to up to +14 dB at measurement point P0_1 for platform 1, with respect to the $L_{A,eq}$ parameter, and up to +17 dB for the $L_{AS,max}$ parameter. In other measurement points and for the second platform, the exceedances were even greater, reaching up to +31 dB for the $L_{A,eq}$ parameter and up to +36 dB for the $L_{AS,max}$ parameter. After retesting platform 1 and point P0_1 following the implementation of safeguards, it was demonstrated that the applied measures reduced the level of exceedances by 8–10 dB (to an exceedance of +6 dB) for the $L_{A,eq}$ parameter and by 3–8 dB (to an exceedance of +14 dB) for the $L_{AS,max}$ parameter. This confirms that the ability to resolve the problem of noise transmission from platforms to residential areas after their installation, if the building's structural design

konstrukcyjno-budowlanych lub doboru urządzeń, które zapobiegły transmisji drgań w takim stopniu, jak nie udało to się w omawianym przypadku, czy też jedynie z braku informacji o tego typu problemach, które nie zostały przekazane wykonawcy, gdyż nigdy nie przerodziły się w realne roszczenia.

Naszym zdaniem, projektując platformy parkingowe w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych, niezbędne jest, podobnie jak przy projektowaniu szybów windowych znajdujących się przy mieszkaniach, uwzględnienie w projekcie konstrukcji budynku pełnego odseparowania konstrukcji platform od konstrukcji budynku. Można to zrealizować na dwa różne sposoby. Pierwszy z nich polega na zastosowaniu **poziomej dylatacji wypełnionej elastomerowym materiałem wibroizolacyjnym zlokalizowanej pod stropem pierwszej kondygnacji mieszkalnej**, czyli typowo pomiędzy garażem podziemnym a znajdującymi się powyżej kondygnacjami mieszkalnymi. Takie rozwiązanie pozwala na montaż platform w tradycyjny sposób, tj. bezpośrednio do płyty dennej garażu i ścian konstrukcyjnych budynku, gwarantując jednocześnie brak transmisji drgań oraz hałasu drogą materiałową do zlokalizowanych powyżej kondygnacji mieszkalnych. Jest ono często stosowane przy wibroizolacji budynków leżących wzdłuż linii kolejowych, aby zapobiegać transmisji drgań pochodzących od przejazdu pociągów [14]. Rozwiązanie to jest – w przypadku problemów z przejazdami pociągów – też znacznie tańsze niż wibroizolacja całej płyty fundamentowej, gdyż ilość elastomerów układana pomiędzy ścianami a stropem jest niewielka w porównaniu z powierzchnią elastomerów układanych pod całą płytą fundamentową. Rozwiązanie pierwsze byłoby również tańsze do zastosowania w przypadku platform, niż drugie polegające na **wprowadzeniu we wnętrze kondygnacji garażowej dodatkowej wibroizolowanej żelbetowej konstrukcji „pływającej”**, do której zamocowane zostaną platformy parkingowe. Oczywiście oba te rozwiązania wymagają ścisłej współpracy z projektantem konstrukcji, a drugie z nich również wyboru dostawcy platform już na etapie projektu budynku.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono metody pomiarów i diagnostykę przyczyn hałasu, generowanego podczas użytkowania platform parkingowych zlokalizowanych w garażu podziemnym wielorodzinnego budynku mieszkalnego, przenikającego do pomieszczeń mieszkalnych drogą materiałową. Na podstawie badań in situ wykazano, że przekroczenie dopuszczalnych poziomów dźwięku występujące w pomieszczeniach chronionych podczas eksploatacji nieodpowiednio zabezpieczonych akustycznie platform parkingowych wynosiło w przypadku platformy 1 i punktu pomiarowego P0_1 do +14 dB w przypadku wymagań określonych parametrem $L_{A,eq}$ oraz do +17 dB przy wymaganiach określonych parametrem $L_{AS,max}$. W pozostałych punktach pomiarowych oraz w przypadku drugiej platformy wartości przekroczeń były jeszcze większe i osiągnęły maksymalnie +31 dB dla wymagań określonych parametrem $L_{A,eq}$ oraz do +36 dB dla wymagań określonych parametrem $L_{AS,max}$. Wykonując powtórne pomiary platformy 1 i punktu P0_1 już w wprowadzeniu zabezpieczeń wykazano, że możliwe do zastosowania zabezpieczenia pozwoliły na zredukowanie poziomu przekroczeń

did not include adequate safeguards, is very limited and not highly effective.

The article also discusses measurement procedures that can be used to analyze noise transmission from car platforms and other technical equipment located in garage areas. Construction and structural solutions to the problem of structural noise transmission were proposed, involving the separation of garage levels from the residential floors above. These safeguards should reduce the risk of parking platforms and other devices being audible in acoustically protected rooms. However, close cooperation between the acoustic designer, the building's general designer, and the structural designer is necessary from the early stages of the project.

Received: 09.07.2024
Revised: 06.09.2024
Published: 22.10.2024

o 8~10 dB (przekroczenie o +6 dB) dla wymagań określonych parametrem $L_{A,eq}$ oraz o 3 ~ 8 dB (przekroczenie o +14 dB) dla wymagań określonych parametrem $L_{AS, max}$. Potwierdza to, że możliwości rozwiązania problemu transmisji hałasu od platform do lokali mieszkalnych już po montażu platform, jeśli projekt konstrukcyjny budynku nie uwzględnił odpowiednich zabezpieczeń, są bardzo ograniczone i mało skuteczne.

W artykule omówiono ponadto procedury pomiarowe, które mogą być wykorzystane do analizy transmisji hałasu od platform samochodowych oraz od wszelkich innych urządzeń wyposażenia technicznego budynku lokalizowanych w strefie garaży. Zaproponowano możliwe rozwiązania konstrukcyjno-budowlane problemu transmisji hałasu drogą materiałową, polegające na odseparowaniu kondygnacji garażowych od zlokalizowanych wyżej kondygnacji mieszkalnych. Zabezpieczenia te powinny ograniczyć ryzyko słyszalności platform parkingowych i innych urządzeń w pomieszczeniach chronionych akustycznie. Konieczna jest jednak ścisła współpraca projektanta akustyki z generalnym projektantem budynku i projektantem konstrukcji już we wczesnej fazie projektu.

Artykuł wpłynął do redakcji: 09.07.2024 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 06.09.2024 r.
Opublikowano: 22.10.2024 r.

Literature

- [1] Wieteska-Rosiak B. Problematyka lokalizacji parkingów wielopoziomowych na osiedlach mieszkaniowych z wielkiej płyty. *Transport Miejski i Regionalny*. 2012; 7: 28 – 32.
- [2] Szumilas AK, Pach PA. Review of parking policies in the case of medium-sized Polish cities. *Procedia Engineering*. 2017; 192: 863 – 868.
- [3] Ilmurzyńska K. Parkowanie na wielkich osiedlach mieszkaniowych a zrównoważona polityka parkingowa, *Builder, PWB MEDIA*. 2024; 2, 2 – 5 [Builder Science], DOI: 10.5604/01.3001.0054.2816.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami.
- [5] Rakoczy P. Automatyczne systemy parkingowe – gdzie i dla kogo? *Autostrady*. 2016; 8-9: 64 – 65.
- [6] Guangmei W, Xianhao X, Yeming (Yale) Gong, Ren«e De Koster, Bipan Z. Optimal Design and Planning for Compact Automated Parking Systems, *European Journal of Operational Research*. 2018; doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.09.014>.
- [7] Zhou Xuhong, Zhang Jingshu, NieHuanhuan, Wang Haicui, Li Jiang, „The key problems in the design of lift-sliding mechanical parking system”, *International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering Mechanic Automation and Control Engineering (MACE)*, 2010 International Conference on. 4983-4987 Jun, 2010.

- [8] PN-B-02151-02:1987 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
- [9] PN-B 02151-2:2018-01 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach. PKN 2018.
- [10] PN-EN ISO 140-4: 2000 Akustyka. Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami.
- [11] PN-B-02156:1987 Akustyka budowlana. Metody pomiaru poziomu dźwięku A w budynkach.
- [12] PN-EN ISO 717-1:2013-08 Akustyka. Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.
- [13] PN-B-02151-3:2015-10 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych.
- [14] Casini M (Editor). In *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Construction 4.0*. Woodhead Publishing, 2022, ISBN 9780128217979, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821797-9.00016-7>.
- [15] PN-EN ISO 12999-1:2021-05 Akustyka – Wyznaczanie i stosowanie niepewności pomiarów w akustyce budowlanej – Część 1: Izolacyjność akustyczna, PKN.