

PROGNOZOWANIE TRWAŁOŚCI PANELI AKUSTYCZNYCH NA PODSTAWIE TESTU W WARUNKACH SYMULOWANYCH

Jerzy BOCHEN*, Rafał ŻUCHOWSKI*, Leszek DULAK*

* Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice,
e-mail: jerzy.bochen@polsl.pl
e-mail: rafal.zuchowski@polsl.pl e-mail:
leszek.dulak@polsl.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań nad wpływem czynników atmosferycznych na właściwości akustyczne i trwałość paneli ekranów drogowych. Badania obejmowały: test starzeniowy w warunkach symulowanych, pomiary parametrów akustycznych pochłaniania dźwięku oraz badania zmian materiałowych metodą skaningową. Na podstawie uzyskanych wyników i zależności oszacowano trwałość właściwości akustycznych paneli.

Słowa kluczowe: ekrany akustyczne, proces starzenia, właściwości akustyczne, trwałość.

1. WPROWADZENIE

Panele akustyczne stosowane w ekranach drogowych muszą spełniać odpowiednie wymagania normowe [1,2]. Wymagania te są sprawdzane w warunkach laboratoryjnych bez uwzględniania wpływu czynników atmosferycznych. W celu rozpoznania jak wpływają czynniki atmosferyczne na właściwości akustyczne a także na trwałość paneli stosowanych do ekranów drogowych, przeprowadzono badania akustyczne takich paneli poddanych testowi starzenia w symulowanych warunkach klimatycznych [3]. Celem badań było monitorowanie właściwości akustycznych pochłaniania dźwięku przez panele akustyczne poddane oddziaływaniu symulowanych czynników atmosferycznych w komorze starzeniowej. W oparciu o przeprowadzone pomiary wyznaczono parametry akustyczne takie jak: charakterystyka pochłaniania dźwięku w funkcji częstotliwości α_s wg PN-EN ISO 354:2005 [4], ważony wskaźnik pochłaniania dźwięku α_w wg PN-EN ISO 11654:1999 [5] oraz jednolite wskaźniki oceny pochłaniania dźwięku DL_{α} wyrażony jako różnica poziomów dźwięku A w decybelach, wg PN-EN 1793-1:2001 [1]. Równolegle obserwowane były zmiany makroskopowe powierzchni materiałów paneli przy użyciu metody skaningowej.

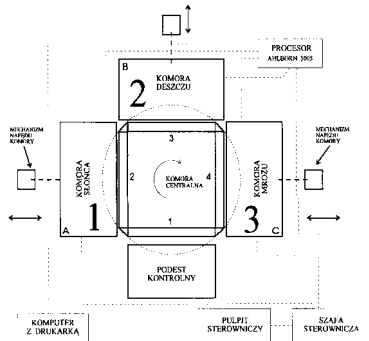
2. CHARAKTERYSTYKA PANELI I METODYKA BADAŃ

Testy starzeniowe oraz badania właściwości akustycznych przeprowadzono dla 6 drewnianych paneli akustycznych o łącznej powierzchni 8,55 m². Panele mają wymiary 0,95x1,50 m i łączną grubość 16,0 cm (ryst.1). Obudowa i szkielet paneli są drewniane i malowane farbą olejną. Od strony zewnętrznej pochłaniającej ułożone są następujące materiały: (1) - ukośne drewniane łąty 35x35 mm w rozstawach co 15 cm, (2) - siatka ochronna z włókna szklanego, (3) - siatka pleciona z folii PCV, (4) - mata przeciwerozyjna SECUMAT grubości 20 mm, (5) - wełna mineralna grubości 50 mm, (6) - tkanina włóknista, (7) - mata przeciwerozyjna SECUMAT grubości 20 mm, (8) - tkanina włóknista, (9) - płyta trocinozrębko-betonowa, (10) - dwuwarstwowe ażurowe poszycie z desek 15x120 mm od strony tylnej.



Rys.1. Widok panelu akustycznego w komorze starzeniowej.
Fig.1. View of the acoustic panel in the ageing chamber.

W badaniach paneli zastosowano metodykę przyspieszonych testów starzeniowych z udziałem symulacji klimatycznej, której parametry odwierciedlają średnie wartości naturalnych czynników klimatycznych. Idea metodyki jest zgodna z procedurą zalecaną w normie brytyjskiej BS ISO 15686/2001 [6], wytycznych dyrektywy 89/106/EWG [7] oraz wytycznych polskich [8]. Podstawą przyjętej metodyki jest stanowisko badawcze – symulacyjna komora rotacyjna do testów przyspieszonego starzenia. Stanowisko składa się z czterech komór: centralnej komory obrotowej do ekspozycji materiałów (wymiary ścian 1,60 x 2,10 m) i trzech komór klimatycznych symulujących dominujące czynniki atmosferyczne takie jak: promieniowanie słoneczne, deszcz i wiatr oraz niska temperatura (rys.2). W „komorze słońca” układ 20 lamp metalohalogenkowych oraz 8 promienników UV emitują promieniowanie świetlne o widmie zbliżonym do promieniowania słonecznego oraz powodują nagrzewanie do temperatury +70°C.



Rys.2. Schemat komory przyspieszonego starzenia.
Fig.2. Scheme of the ageing chamber.

W „komorze deszczu” następuje zraszanie wodą z podmuchami powietrza imitującymi wiatr. W „komorze mrozu” następuje schładzanie do -25°C. Parametry komór klimatycznych są dobierane w odniesieniu do uśrednionych danych klimatu naturalnego dla regionu Śląska. W powtarzalnych cyklach klimatycznych testowane materiały podlegają naprzemiennemu nagrzewaniu i naświetlaniu, nawilżaniu i zamrażaniu. W komorze mogą być badane elementy wielkowymiarowe, np. okna, ekrany akustyczne, elementy elewacyjne, itp. Podstawowy test według zaleceń normy PN-B-10106:1997 [9] wynosi 90 cykli. Przyjmuje się według metodyki norweskiej długość jednego cyklu $T = 4$ godziny co odpowiada czterem cyklom jednostkowym w poszczególnych komorach klimatycznych trwającym po 1 godzinie. Współczynnik przyspieszenia środowiska symulowanego komory względem środowiska naturalnego wynosi 12 co oznacza, że 1 miesiąc nieprzerwanego działania komory odpowiada 12 miesiącom w warunkach naturalnych. Na tej podstawie oraz badań własnych [10] przyjmuje się, że 100 cykli w komorze odpowiada okresowi 2-2,5 lat w warunkach naturalnych. Parametry klimatu symulowanego mogą być

dowolnie zadawane a komora sterowana jest automatycznie. W trzech ścianach komory centralnej zainstalowano po dwa panele akustyczne (rys.1) i poddano testowi starzenia trwającemu 150 cykli. W celu określenia właściwości akustycznych paneli oznaczono współczynnik pochłaniania dźwięku α_s zgodnie z normą [4] oraz jednoliczbowy wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku DL_α zgodnie z normą [1] wyrażony jako różnica poziomów dźwięku A w decybelach:

$$DL_\alpha = -10 \log \left| \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} \cdot 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1L_i}} \right| \quad [dB] \quad (1)$$

gdzie: L_i – znormalizowany poziom dźwięku A w dB hałasu drogowego w i-tym paśmie częstotliwości o szerokości 1/3 oktawy, α_{si} – współczynnik pochłaniania dźwięku w i-tym paśmie częstotliwości o szerokości 1/3 oktawy.

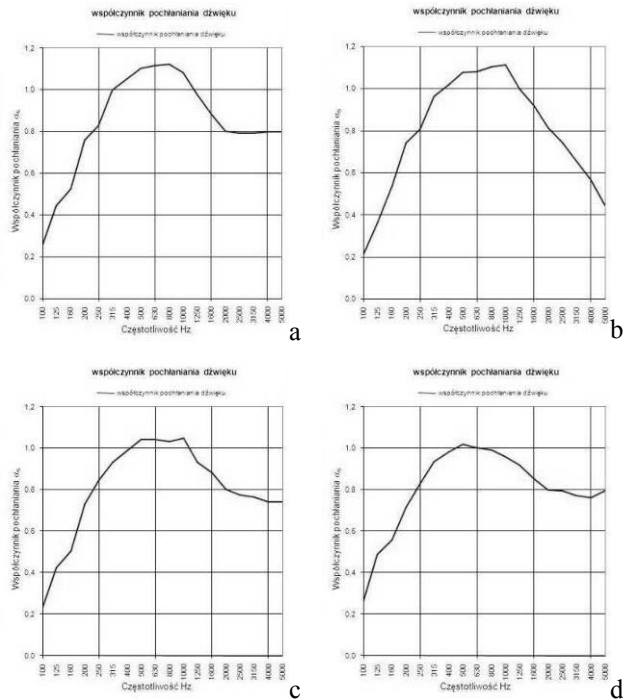
Na podstawie wartości wskaźnika DL_α określona jest klasyfikacja właściwości pochłaniających według normy PN-EN 1793-1:2001 [1].

Tablica 1. Klasy właściwości pochłaniających [1].
Table 1. Classes of absorption properties [1].

Klasa akustyczna	Wskaźnik DL_α , [dB]
A0	nie określa się
A1	< 4
A2	4 ÷ 7
A3	8 ÷ 11
A4	> 11

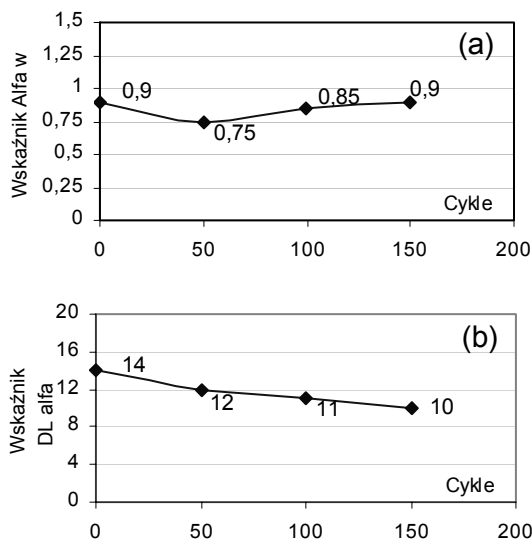
3. WYNIKI BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNYCH

W celu sprawdzenia czy środowisko klimatyczne wpływa na właściwości akustyczne badanych paneli, wykonano 4 pomiary pochłaniania dźwięku w odstępach co 50 cykli: przed testem starzeniowym (stan 0), po 50 cyklach, po 100 cyklach i po 150 cyklach. Badania wykonano w komorze pogłosowej zgodnie z zaleceniami normy [4]. Na podstawie pomiarów czasu pogłosu po każdym 50 cyklach testu starzeniowego wyznaczono ważony wskaźnik pochłaniania dźwięku α_w oraz jednoliczbowy wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku DL_α (rys.3). Dla poszczególnych etapów starzenia określono zmienności współczynnika α_{si} i wskaźnika DL_α (rys. 4). Na podstawie wskaźnika DL_α oraz stosowanej klasyfikacji (tab.1), zakwalifikowano przebadane ekrany do odpowiedniej klasy właściwości pochłaniających: przed testem i po 50 cyklach do klasy A4 oraz po 100 cyklach i po 150 cyklach do klasy A3.



Rys.3. Współczynnik pochłaniania dźwięku α_s : a) przed testem, b) po 50 cyklach, c) po 100 cyklach, d) po 150 cyklach starzenia w komorze klimatycznej.

Fig.3. Sound absorption index α_s : a) before the test, b) after 50 cycles, c) after 100 cycles, d) after 150 ageing cycles in climatic chamber.



Rys.4. Wyniki akustyczne: a) ważony wskaźnik pochłaniania dźwięku α_w , b) jednoliczbowy wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku DL_α .

Fig.4. Acoustic results: a) sound absorption index α_w , b) single-number valuation sound absorption index DL_α .

4. WYNIKI BADAŃ SKANINGOWYCH

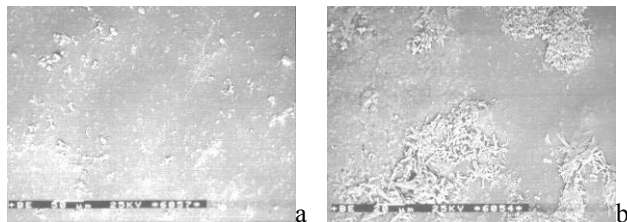
W celu stwierdzenia jak wpływa środowisko klimatyczne na materiały paneli wykonano badania skaningowe morfologii powierzchni na mikroskopie elektronowym. Badaniom poddano powierzchnie próbek wyciętych z poszczególnych komponentów takich jak: listwy drewniane (1), siatka z włókna szklanego (2), siatka pleciona z folii PCV (3), mata SECUMAT z tworzywa sztucznego (4), wełna mineralna (5). Obserwacje stanu powierzchni wykonano na mikroskopie BS-340 firmy TESLA w strumieniu elektronów odbitych przy powiększeniu od 100 do 10000 razy, w dwóch stanach: przed testem starzeniowym (stan 0) i po zakończeniu testu tj. po 150 cyklach. Obserwacje skaningowe komponentów w stanie początkowym wykazały stan powierzchni jednolitej, gładkiej bez spękań, tylko z drobnymi skupiskami osiadłego kurzu. Po teście starzeniowym zaobserwowano wyraźne zmiany głównie w postaci osadów.

Na listwach drewnianych (1) powierzchnia lakierowana zachowała swą gładkość tylko w nielicznych miejscach. Została pokryta plamami bardzo drobnego osadu oraz skupiskami drobnozarnistego osadu (rys.5a) a nawet skupiskami dobrze wykształconych kryształów o wyglądzie igieł (rys.5b). Można przypuszczać, że jest to osad trudno rozpuszczalnych węglanów wapnia będących produktem reakcji chemicznej dwutlenku węgla z powietrza z jonami wapnia obecnymi w wodzie zraszającej próbki w komorze starzeniowej.

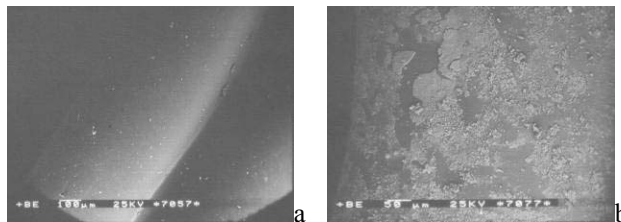
Na siatce z włókna szklanego (2) miejsca ich zespolenia pokryte zostały grubą powłoką zakrywającą pierwotny zarys włókien w niciach (rys.6b). Przy większych powiększeniach stwierdzono, że na skorupie z drobnozarnistego osadu utworzyły się miejscowo pojedyncze skupiska lub całe płyty dobrze wykształconych kryształów (rys.6c), tworzących często gwiaździste pęki (rys.6d). Na siatce plecionej z folii PCV (3) powstały jedynie pojedyncze skupiska kryształów węglanu wapnia (rys.7b).

Powierzchnia żyłek w macie SECUMAT z tworzywa sztucznego (4) pokryła się dużą ilością osadu tworzącego mniejsze lub większe skupiska (rys.8b). Pomiedzy nimi powierzchnia żyłek okazała się nadal gładka, bez oznak spękania, łuszczenia lub rozwarstwienia.

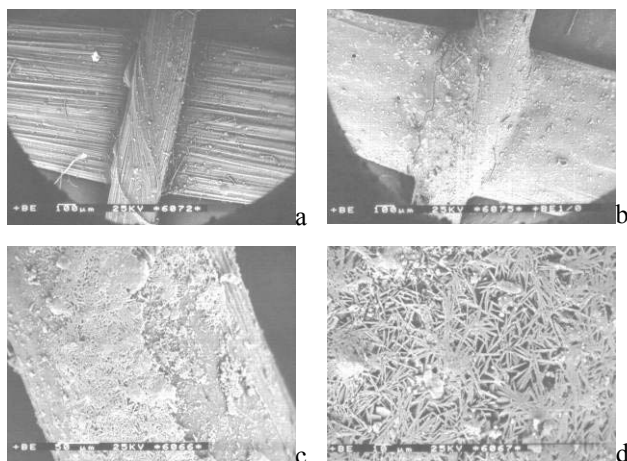
Podobny efekt w postaci drobnych skupisk osadu wystąpił na powierzchni włókien wełny mineralnej (rys.9b). Włókna nie wykazały poprzecznych pierścieniowych spękań, typowych dla długotrwałego działania wody. Żywica natryśnięta podczas produkcji płyt wciąż łączyła włókna (rys.9b). Na niektórych włóknach, głównie grubszych wystąpiły powierzchniowe niewielkie ubytki. Włókna uległy powierzchniowemu działaniu wilgoci i wody i pokryły się cienką warstwą żeluzi, który podczas okresowego nawilżania i wysychania włókien uległ punktowemu wykruszeniu włókien pozostawiając obserwowane ubytki. Zmiany te występują głównie na włóknach przy powierzchniach zewnętrznych płyt. Na głębokości 200-300 μm są mniejsze i głębiej niż 700 μm stopniowo zanikają, koło 700 μm wygląd włókien jest taki sam jak w warunkach odniesienia tzn. powietrzno-suchych.



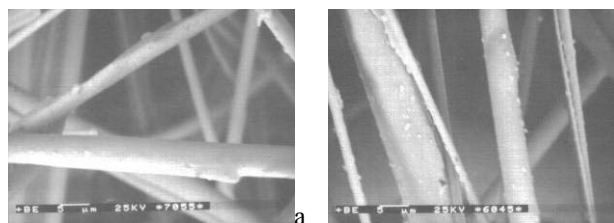
Rys.5. Obrazy skaningowe listwy drewnianej: a) przed testem starzeniowym (x500), b) po teście, osady węglanów (x1200).
Fig.5. Scanning images of wooden batten: a) before ageing test (x500), b) after the test, crystallized carbonates (x1200).



Rys.8. Obrazy skaningowe żyłki maty SECUMAT: a) przed testem (x200), b) po teście, osady węglanów (x350).
Fig.8. Scanning images of SECUMAT mat line: a) before ageing test (x350), b) after the test, carbonate precipitates (x350).



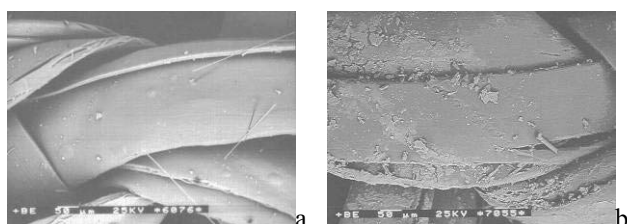
Rys.6. Obrazy skaningowe siatki z włókna szklanego: a) przed testem starzeniowym (x150), b,c,d) po teście, osady węglanów (x150, x700), wykrystalizowane węglany (x1400).
Fig.6. Scanning images of fibre glass net: a) before ageing test (x150), b,c,d) after the test, carbonate precipitates (x150, x700), crystallized carbonates (x1400).



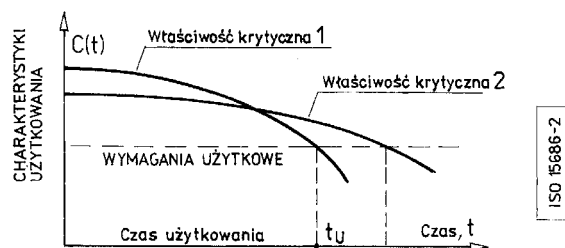
Rys.9. Obrazy skaningowe włókien wełny mineralnej: a) przed testem (x5000), b) po teście, osady węglanów (x5000).
Fig.9. Scanning images of mineral wool fibres: a) before the test (x5000), b) after the test, carbonate precipitates (x5000).

5. SZACOWANIE TRWAŁOŚCI EKRAŃÓW

Trwałość paneli akustycznych określono na podstawie ogólnych wytycznych normowych i literaturowych [6,7,8] dotyczących prognozowania trwałości. Według normy brytyjskiej BS ISO 15686-2001 [6] trwałość rozumiana jest jako stan graniczny funkcji użytkowej (rys.10).



Rys.7. Obrazy skaningowe siatki plecionej z folii PCV: a) przed testem starzeniowym (x350), b) po teście, osady węglanów (x350).
Fig.7. Scanning images of PVC foil plaited net: a) before ageing test (x350), b) after the test, carbonate precipitates (x350).



Rys.10. Zasada określania czasu użytkowania wg normy BS ISO 15686-2[6].
Fig.10. Definition of service life according to BS ISO 15686-2 standard [6].

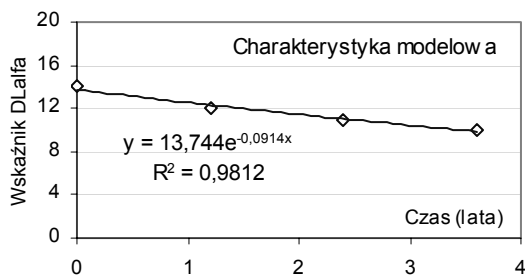
Dla określenia funkcji użytkowej potrzebna jest mierzalna cecha fizyczna w funkcji czasu $C(t)$ oraz umowna wartość graniczna C_{min} właściwości użytkowej. Charakterystykę użytkową $C(t)$ można określić na podstawie funkcji regresji z pomiarów wykonanych w odstępach czasowych. Wartość graniczną stanowią dopuszczalne wartości normowe (np. spadek wytrzymałości, ubytek masy, itp) lub użytkowe. W przypadku badanych paneli akustycznych istnieje trudność w określeniu dla poszczególnych komponentów mierzal-

nych cech fizycznych gdyż nie wystąpiły żadne zmiany makroskopowe w ciągu trwania testu starzeniowego. Nie zaobserwowano żadnych uszkodzeń, zmian kształtu, ubytków czy barwy. Z tego względu pod uwagę wzięto zmiany morfologii powierzchni w skali mikro, takie jak osadzanie się osadów węglanów. Efekt ten może tłumaczyć pomierzone zmiany (zmniejszenie) pochłaniania dźwięku w trakcie testu starzeniowego. Z tego względu jako miarodajną cechę do oceny trwałości akustycznej przyjęto wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku DL_{α} . Jako umowne wartości graniczne przyjęto wartości przedziałowe klas właściwości pochłaniających (tab.1). Podejście to jest szacunkowe i jedyne możliwe dla uzyskanych wyników. Dokładne określenie trwałości według metodyki określonej normą [5] jest trudne do określenia. W celu oszacowania czasów trwałości dla oczekiwanych klas pochłaniania akustycznego, określono charakterystykę pochłaniania akustycznego jako krzywą regresji dla wartości pomiarowych DL_{α} (rys.10b). Wiedząc, że 100 cykli w komorze odpowiada okresowi 2-2,5 lat w warunkach naturalnych, wartości cykli starzeniowych wyrażono w latach. Następnie na podstawie arkusza kalkulacyjnego Excel ustalono krzywą modelową typu wykładniczego o wysokim współczynniku determinacji R^2 (rys.11). Na podstawie uzyskanej krzywej oraz wartości odpowiadających granicom klas pochłaniania:

$$y_{0,1} = 0,5 \text{ dB} ; \quad y_{1,2} = 4,5 \text{ dB} ; \quad y_{2,3} = 7,5 \text{ dB} ; \\ y_{3,4} = 11,5 \text{ dB} , \text{ wyznaczono odpowiadające czasy:}$$

$$t_{0,1} = 36,0 \text{ lat} ; \quad t_{1,2} = 12,0 \text{ lat} ; \quad t_{2,3} = 7,0 \text{ lat} ; \quad t_{3,4} = 2,0 \text{ lata.}$$

Z powyższego wynika, że klasy akustyczne mogą ulegać obniżeniu w kolejnych latach, np.: klasa A4 utrzymuje się przez okres 2 lat, klasa A3 i A2 przez 5 kolejnych lat a najniższa klasa A1 przez ponad 20 lat. Wyniki te należy traktować jako szacunkowe.



Rys.11. Charakterystyka modelowa pochłaniania akustycznego testowanych paneli.

Fig.11. Modeled characteristics of acoustic absorption of tested panels.

6. WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Na podstawie wykonanych badań i przeprowadzonych analiz można sformułować następujące wnioski:

- Ekspozycja w warunkach atmosferycznych i wynikający z tego proces starzenia, spowodowały pogorszenie właściwości akustycznych materiałów zabudowanych w panelach stosowanych do budowy ekranów akustycznych. Pomiar akustyczne w trakcie testu starzeniowego wykazały obniżenie wskaźnika oceny pochłaniania dźwięku DL_{α} o 28,5%. Biorąc pod uwagę przełożenie czasowe komory starzeniowej (100 cykli = 2-2,5 lat), wynik ten odnosi się do okresu 3,5 – 4 lat.
- Badania skaningowe nie potwierdziły zniszczenia komponentów paneli. Struktura włókien wełny mineralnej oraz innych materiałów nie uległy zmianom. Wpływ starzenia uwidocznił się w postaci osadzania węglanu wapnia wytrąconego z wody. Jest to naturalne zjawisko w środowisku wody i obecności atmosfery (CO_2). Zmiany te mogły przyczynić się do zarejestrowanych zmian właściwości akustycznych paneli.
- Z uwagi na brak wyraźnych zmian fizycznych i krótki czas trwania testu starzeniowego, prognozowanie trwałości jest utrudnione. Podstawą mogą być jedynie pomierzone zmiany akustyczne, które pozwalają w oparciu o kinetykę zarejestrowanych zmian, na oszacowanie czasu utrzymania właściwości pochłaniania dźwięku na odpowiednim poziomie, określonym przedziałem klasowym. Trwałość paneli akustycznych określono na podstawie ogólnych wytycznych. Klasy akustyczne pochłaniania dźwięku przez panele mogą się obniżyć w kolejnych latach. Na podstawie uzyskanych danych trwałość klasy A4 szacuje się na okres 2 lata, klasy A3 i A2 na 5 lat a najniższej klasy A1 na co najmniej 20 lat.

DURABILITY PREDICTION OF ROAD SCREEN PANELS BY TESTING IN SIMULATED ENVIRONMENT

Summary: Study on the influence of atmospheric factors on acoustic properties and durability of road screen panels is presented. The range of the research was: ageing testing in ageing chamber, acoustic measurements of sound absorption, study of material changes by scanning microscope.

Literatura

- [1] PN-EN 1793-1:2001: Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Metoda badania w celu wyznaczenia właściwości akustycznych. Część 1: Właściwa charakterystyka pochłaniania dźwięku.
- [2] PN-EN 1793-2:2001: Drogowe urządzenia przeciwhałasowe Metoda badania w celu wyznaczenia właściwości akustycznych Część 2: Znormalizowane widmo hałasu drogowego.

- [3] Żuchowski R., Dulak L., Bochen J. Badania właściwości akustycznych i trwałości paneli akustycznych poddanych starzeniu w warunkach symulowanych. Praca NB-4/RB-4/09/RB-9, Gliwice 2009.
- [4] PN-EN ISO 354:2005. Akustyka. Pomiar pochłaniania dźwięku w komorze pogłosowej.
- [5] PN-EN ISO 11654:1999. Akustyka. Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie. Wskaźnik pochłaniania dźwięku.
- [6] BS ISO 15686-2:2001. Buildings and constructed assets – Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures.
- [7] Dokumenty Unii Europejskiej dotyczące budownictwa. Seria 11- Trwałość budynków i okres użytkowania wyrobów budowlanych w ustaleniach technicznych zharmonizowanych z dyrektywą 89/106/EWG.
- [8] Ściślewski Z. Zasady projektowania budynków i budowli z uwzględnieniem trwałości, ITB Warszawa 1994.
- [9] PN-B-10106:1997. Tynki i zaprawy budowlane. Masy tynkarskie do wypraw pocienionych.
- [10] Bochen J. Assessment of natural ageing of mineral facade plasters on the grounds of the pore structure during short ageing test, Intern. Conf.: Life cycle assessment, behaviour and properties of concrete and concrete structures, Brno 2004.