

TKANINA JAKO BARIERA AKUSTYCZNA

*Katarzyna Abramczyk¹, Marcin Barburski¹, Jarosław R. Blaszczyk²,
Bethalilem Samuel¹*

¹ *Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów
(Instytut Architektury Tekstyliów)*

Politechnika Łódzka, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, Polska

² *Wydział Mechaniczny (Instytut Maszyn Przepływowych)*

Politechnika Łódzka, ul. Wólczańska 219/223, 90-924 Łódź, Polska

DOI 10.34658/9788366741805.19

1. Wstęp

Rozwój technologii i cywilizacji czasami powoduje obniżenie komfortu życia i pogorszenie zdrowia. Jednym z problemów jest niepotrzebny hałas generowany z otoczenia mający swoje źródła w domach tj. telewizja, sprzęt AGD, klimatyzatory, głośne rozmowy, itd. oraz w miejscach pracy tj. urządzenia i maszyny, panele wibracyjne, silniki spalinowe, urządzenia przepływowe itp. Opisane wyżej źródła dźwięku można skategoryzować jako hałas przenoszony przez powietrze i hałas przenoszony przez konstrukcje. Aby rozwiązać ten problem opracowano bariery dźwiękowe z różnych materiałów, m.in. z porowatych struktur materiałów włókienniczych stosowanych jako materiały dźwiękochłonne. W zależności od zastosowania końcowego wykorzystuje się tkaniny, dzianiny, włókniny i kompozyty [1-3].

Najbardziej znanymi materiałami stosowanymi do absorpcji akustycznej są włókniny, które dzięki swojej wysokiej całkowitej powierzchni stanowią skuteczne bariery dźwiękochłonne. Jest to związane z ich właściwościami i kształtem przekroju włókna. Mniejsza średnica zastosowanych włókien wpływa na poprawę barierowości akustycznej przy zachowaniu tej samej masy powierzchniowej włókniny. Zwiększa to możliwości interakcji fal dźwiękowych z włóknami w strukturze materiału.

Parametry fizyczne i akustyczne określane są przez pomiar grubości, masy na jednostkę powierzchni, wytrzymałości i wydłużenia, porowatości, przepuszczalności powietrza i przewodności cieplnej oraz pochłaniania dźwięku. Naukowcy przez wiele lat opracowywali bariery kompozytowe jako produkty pochłaniające dźwięk, stosując w tym celu różne materiały zgodnie z końcowym przeznaczeniem. Zwłaszcza w celu zapobieganiu hałasom trudno redukowanym, np. generowanym przez samoloty, silniki ciężarówek i maszyny. Takie kompozyty akustyczne można wytwarzać np. poprzez zastosowanie pianek polimerowych, materiałów pochodzących z recyklingu i laminowanych tekstyliów [2,4,5].

Proces produkcji tkanin umożliwia uzyskanie masowo produkowanego taniego materiału do zastosowania jako bariera akustyczna, przy jednoczesnym uzyskaniu

większej wytrzymałości w porównaniu do włókien. Tkaniny można zrealizować z różnych surowców tj. naturalnych lub chemicznych włókien. Rodzaj przędzy i splot tkaniny również nie jest bez znaczenia. Badanie właściwości włókien, przędz i płaskich struktur włókienniczych może prowadzić do określenia cech materiałów stanowiących barierę akustyczną. Do właściwości takich należą: skręt przędzy, masa liniowa przędzy, grubość tkaniny, porowatość, przepuszczalność powietrza, współczynnik pokrycia tkaniny, opór przepływu, itp. [1,3].

W niniejszym artykule skupiono się na analizie zjawiska pochłaniania dźwięku w czterech różnych strukturach tkanin, wytworzonych z jednego rodzaju przędzy. Tkaniny zostały wytworzone przy użyciu nowoczesnych maszyn i technologii celem uzyskania ich konkretnych właściwości i zastosowań. Przeprowadzone testy dały możliwość zbadania wpływu różnic w strukturze wewnętrznej tkanin na ich właściwości akustyczne. Przedstawione pomiary właściwości akustycznych zostały wykonane w specjalnie zaprojektowanej aeroakustycznej komorze bezdechowej znajdującej się w Laboratorium Aeroakustyki Instytutu Maszyn Przepływowych (Politechnika Łódzka).

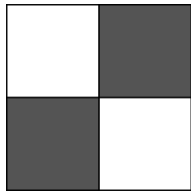
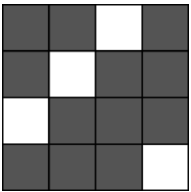
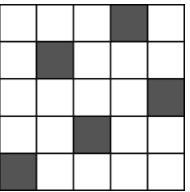
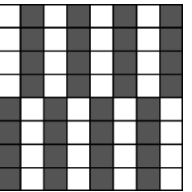

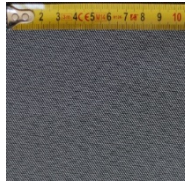
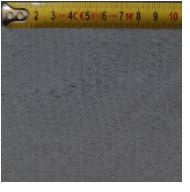
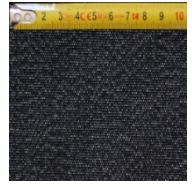
2. Materiał badawczy

Do badań wykorzystano cztery próbki tkanin o różnych splotach (płóciennym, skośnym, atlasowym i rypsowym) o wymiarach 150 cm x 150 cm. Tkaniny zostały wykonane na krośnie Picanol Gamma z mechanizmem Jacquarda w Instytucie Architektury Tekstyliów (Politechnika Łódzka). Ich specyfikacja przedstawiona jest w Tabeli 1.

Jako osnowy i wątku użyto teksturowanej przędzy poliestrowej 167 dtex x 2. Przędza teksturowana (DTY) to przędza z włókien ciągłych charakteryzująca się karbikowatością, dobrym pokryciem tkaniny, dobrymi własnościami mechanicznymi, małym ciężarem właściwym, trwałością, miękkim chwytem i niskim efektem pilingowania na powierzchni tkaniny. Karbikowatość i puszystość przędzy poliestrowej DTY zapewnia dobrą przemianę energii akustycznej w energię cieplną, która powstaje w wyniku tarcia wewnątrz struktury [6-7].

Wszystkie tkaniny powstały na tym samym krośnie o stałej liczności osnowy wynoszącej 30 nitek/cm. Tabela 2 przedstawia liczności nitek wątku i osnowy, grubości i masy powierzchniowe badanych tkanin po 24 godzinnej relaksacji w warunkach normalnych.

Tabela 1. Specyfikacja badanych tkanin

Tkanina	A. Tkanina o splotcie płóciennym	B. Tkanina o splotcie skośnym	C. Tkanina o splotcie atlasowym	D. Tkanina o splotcie rypsowym poprzecznym
Raport splotu				
Wygląd tkaniny				

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych pomiarów próbek.

Tabela 2. Parametry badanych tkanin

Tkanina	Masa powierzchniowa [g/m ²]	Grubość [mm]	Liczność nitki wążku [nitki/cm]	Liczność nitki osnowy [nitki/cm]
A	157	0,36	11	30
B	182	0,39	17	30
C	238	0,4	30	31
D	221	0,51	27	30

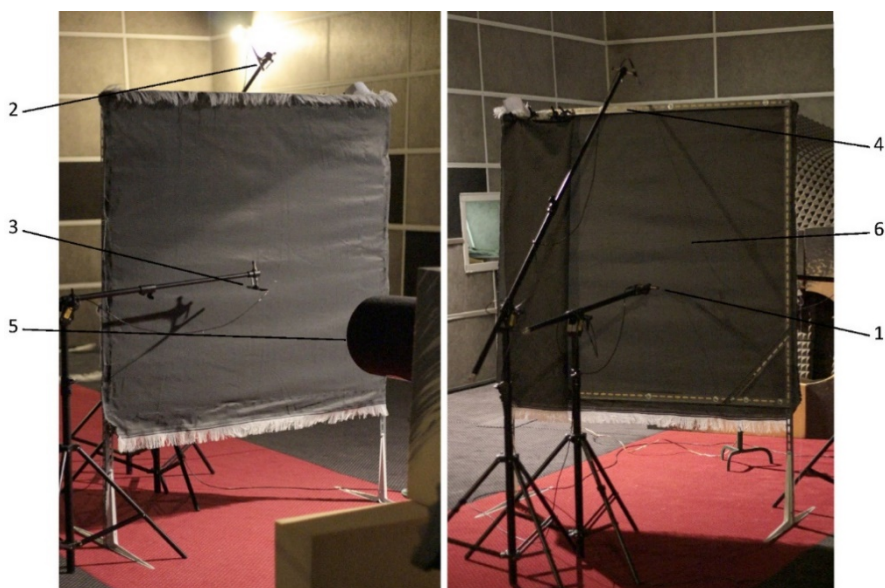
Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych pomiarów próbek.

3. Eksperyment

Badania zostały wykonane w aeroakustycznej komorze bezchowej w Laboratorium Aeroakustyki Instytutu Maszyn Przepływowych na Politechnice Łódzkiej. Komora bezchowa jak i jej modernizacja zostały opisane w pracach [8-11].

Tkaniny zostały poddane testom pochłaniania dźwięku w polu swobodnym w środowisku bezchowym. Każdą tkaninę o wymiarach 150 cm na 150 cm (Rysunek 1, poz. 6) przymocowano do specjalnie przygotowanej ramy przy użyciu igieł mocujących (Rysunek 1, poz. 4).

Badania przeprowadzono dla zakresów niskich i średnich częstotliwości akustycznych, w których trudno jest wytłumić dźwięk a które obejmują m.in. częstotliwości mowy. Pominięto wysokie częstotliwości ponieważ właściwości dźwiękochłonności tekstyliów dla wysokich częstotliwości są wystarczające i bardzo łatwo je tłumią [11-13].



Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – mikrofon pierwszy (za tkaniną), 2 – mikrofon drugi (referencyjny), 3 – mikrofon trzeci (przed tkaniną), 4 – rama, 5 – źródło dźwięku, 6 – badana tkanina

Źródło: opracowanie własne na podstawie wykonanych badań.

Do testów użyto kierunkowego źródła dźwięku (Rys. 1., poz. 5) zasilanego przez wzmacniacz o paśmie przenoszenia od 5 Hz do 60 kHz (± 1 dB). Częstotliwość ustawiana była za pomocą generatora sygnału sinusoidalnego z czasem realizacji 10 s. Profile sygnałów wyjściowych każdorazowo były sprawdzane na oscyloskopie. Amplituda sygnału wytwarzanego w generatorze wynosiła 300 mV i była dalej odpowiednio wzmacniana (celem uzyskania odpowiedniej amplitudy) przed przejściem do źródła dźwięku. Badania rozpoczęto od wykonania pomiaru bez tkanin, co umożliwiło uzyskanie referencyjnych poziomów dźwięku dla każdej badanej częstotliwości.

Wszystkie testy wykonano przy użyciu trzech półcalowych mikrofonów z wbudowanymi przedwzmacniaczami (Rys. 1., poz. 1-3) o następujących parametrach: zakresy częstotliwości od 3,15 Hz do 40 kHz z polaryzacją 200V, czułość ok. 50 mV. Pierwszy mikrofon znajdował się 10 cm za badaną próbką w głównej osi źródła dźwięku (Rysunek 1, poz.1). Drugi znajdował się 10 cm przed

badaną próbką odsunięty poziomo o 10 cm od głównej osi źródła dźwięku (Rys. 1., poz. 3). Miało to na celu uniknięcie jego wpływu na dźwięk docierający do badanej próbki. Trzeci mikrofon znajdował się 10 cm nad ramą w pionowych osiach próbki i źródła dźwięku (Rys. 1., poz. 2). Jego oś skierowana była na środkowy punkt płaszczyzny wyjściowej źródła dźwięku. Służył on do pomiaru odniesienia poziomu dźwięku podczas wykonywanych testów. Przed każdą sesją pomiarową dokonywano sprawdzania mikrofonów przy użyciu kalibratora.

Dla każdego indywidualnego pomiaru czas pomiaru t wynosił 10 s. Częstotliwość próbkowania f_s wynosiła 50 kHz (0,5 miliona pomiarów dla konkretnej częstotliwości dla konkretnej konfiguracji pomiarowej). Dane z mikrofonów przysłane były poprzez stacje przetworników analogowo-cyfrowych do komputera poprzez ekranowane złącze Ethernet w celu zapisu i dalszej analizy danych. Dokładny opis technik pomiarowych znajduje się we wcześniejszych pracach [8,11,14-17].

Badania rozpoczęto od wykonania pomiaru bez tkanin. Dla każdego wybranego zakresu częstotliwości zmierzono wartości poziomów dźwięku. Sprawdzone czy układy generowania i pomiaru dźwięku mają płaskie charakterystyki (± 3 dB, wg norm ISO) w całym badanym zakresie częstotliwości. Wyniki stanowiły podstawę odniesienia dla mierzonych poziomów ciśnienia akustycznego. Dla każdej tkaniny zastosowano częstotliwości oktawowo, tj. 63, 125, 250, 500, 1000, 2000 Hz. Dla wszystkich pomiarów akustycznych referencyjny poziom ciśnienia akustycznego wynosił 20 μ Pa.

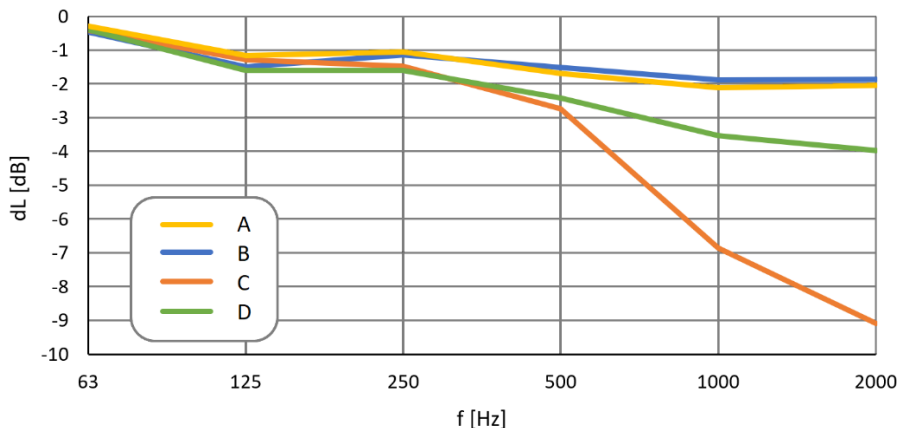
4. Analiza wyników

Na Rysunku 2 pokazano spadki poziomów ciśnienia akustycznego dla następujących materiałów: A – tkanina o splocie płóciennym, B – tkanina o splocie skośnym, C – tkanina o splocie atlasowym, D – tkanina o splocie rypsowym.

Jak można zauważyć podobne wyniki osiągnięto dla tkanin o splotach płóciennym i skośnym. Są to tkaniny o najniższych licznosciach wątkowych i masach powierzchniowych. Okazują się być praktycznie „przezroczyste” dla dźwięku. Ich zaletą jest równomierne pochłanianie dźwięku dla różnych częstotliwości co może stanowić podstawę do dalszych badań dla tkanin o większej masie powierzchniowej i licznosci wątkowych i osnowy.

Tkanina o splocie atlasowym wykazuje najlepszy wynik w zakresie tłumienności dźwięku w porównaniu z resztą badanych tkanin. Posiada najwyższą masę powierzchniową i licznosc nitek wątku. Jest to tkanina o gęstej strukturze więc dźwięk miał większe trudności w przejściu przez tkaninę. Podobne parametry ma tkanina o splocie rypsowym, jednak uzyskała niższe wyniki. Powodem jest dość luźna struktura splotu.

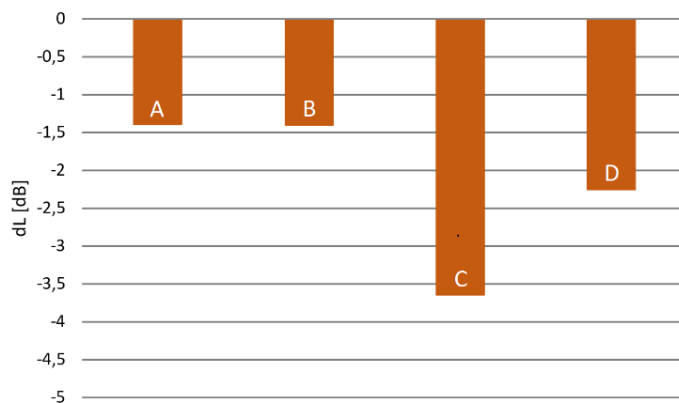
Poniżej 250 Hz wszystkie tkaniny okazały się być „przezroczyste” dla dźwięku. Właściwości pochłaniania dźwięku są lepsze dla wyższych częstotliwości, co jest doskonale udokumentowane w pracach innych badaczy [np. 12].



Rys. 1. Spadek poziomu ciśnienia akustycznego dla tkanin: A – o splocie płóciennym, B – o splocie skośnym, C – o splocie atlasowym, D – o splocie rypsowym

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań

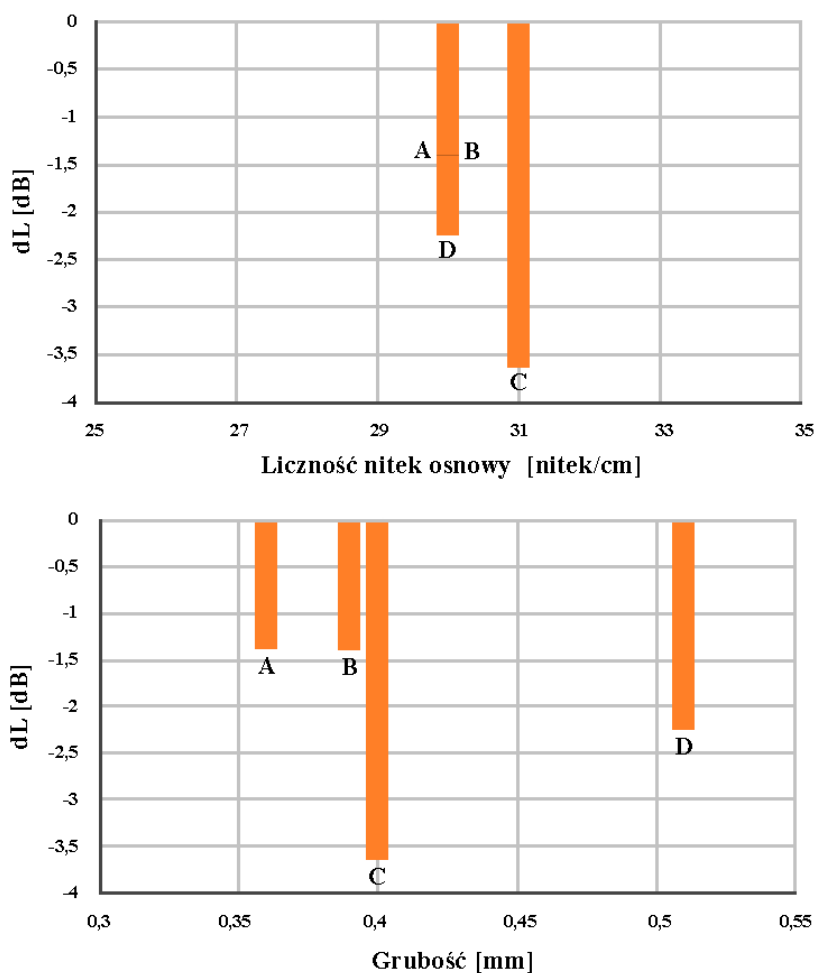
Porównanie wyników ogólnych dla całego zakresu badanych częstotliwości przedstawiono na Rys. 3. Dla uzyskania bardziej dokładnej analizy wyniki zostały pogrupowane wedle parametrów badanych tkanin i przedstawione na Rys. 4 i Rys. 5.



Rys. 2. Porównanie całkowitych spadków ciśnienia akustycznego we wszystkich konfiguracjach tkanin [18]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań

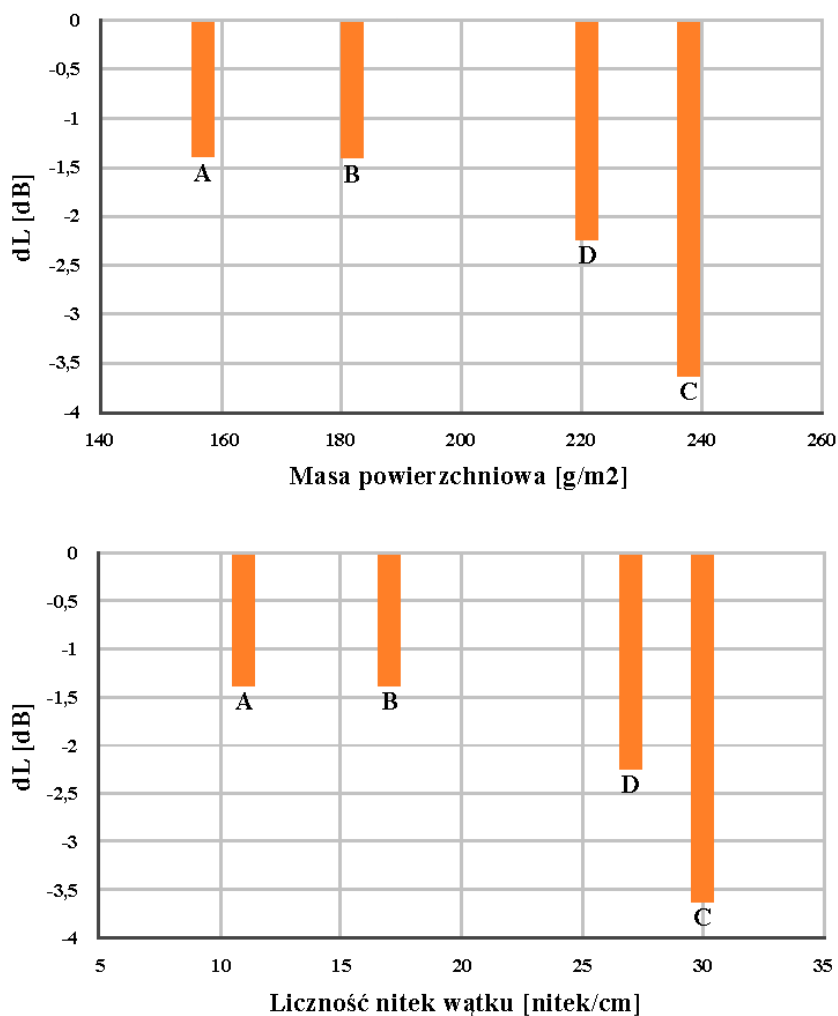
W przedstawionych badaniach nie dostrzeżono większych zależności pomiędzy grubością tkaniny a ilością pochłanianego dźwięku. Warto jednak zauważyć, że rozbieżności w grubościach badanych tkanin są niewielkie. Najgrubszą okazała się tkanina o splotie rypsowym, jednak poprzez swoją dość luźną strukturę splotu uzyskała dosyć przeciętny wynik podczas badań akustycznych. Najlepsze właściwości wykazała tkanina o splotie atlasowym, której grubość jest bardzo zbliżona do tkanin o splotach płóciennym i skośnym. Te natomiast nie stanowiły znaczącej bariery dla fali dźwiękowej. Tkanina o splotie płóciennym posiadała luźną strukturę, a obie miały niskie licznosci wątków, natomiast wszystkich tkaninach licznosci nitek osnowy miały zbliżone wartości.



Rys. 3. Porównanie całkowitych spadków ciśnienia akustycznego do parametrów tkanin: grubości, licznosci nitek osnowy [18]

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Na kolejnych wykresach (Rys. 5.) przedstawiono wyniki pochłaniania dźwięku przez poszczególne tkaniny w zależności od ich pozostałych parametrów: masy powierzchniowej i liczności nitek wątku. Można zauważyć tendencje do osiągnięcia lepszego wyniku badania akustycznego przez tkaniny o większych masach powierzchniowych i większej ilości nitek wątku na cm. Są to również parametry bezpośrednio od siebie zależne gdyż masa powierzchniowa rośnie przy zwiększeniu liczności nitek.



Rys. 5. Porównanie całkowitych spadków ciśnienia akustycznego do parametrów tkanin: masy powierzchniowej, liczności nitek wątku [18]

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Jak widzimy wzrost liczby nitek utrudnia przechodzenie dźwięku pomiędzy pasmami przędzy, zatem pochłanianie dźwięku miało miejsce w materiale. Stąd największy wpływ na absorpcję dźwięku przez tkaniny z opisanych parametrów mają masa powierzchniowa i liczność nitek wątku. Wzmacniają one strukturę splotu atlasowego, który ma lepsze właściwości redukujące dźwięk niż inne typy splotów. Przedstawione badania spełniły warunki weryfikacji zakładanych teoretycznych właściwości tkanin, co było głównym celem pracy dyplomowej jednej z autorek niniejszej pracy [18].

5. Podsumowanie

W zakresie niskich częstotliwościach akustycznych, zgodnie z oczekiwaniami na podstawie innych badań [np. 3], praktycznie żadna z badanych tkanin nie wykazała odpowiednich teoretycznych właściwości pochłaniania dźwięku. Niskie częstotliwości dźwięku są najtrudniejsze do pochłaniania, nie tylko dla materiałów tekstylnych, ale również wszelkiego rodzaju budowlanych, gdzie jest to poważnym problemem [12].

W przedstawionych badaniach tkaniny o splotach rypсовym i atlasowym wykazały się najlepszymi zdolnościami pochłaniania dźwięku w zakresie częstotliwości 250 – 2000 Hz. Tendencja wzrostu pochłaniania dźwięku wraz ze wzrostem częstotliwości sugeruje dobre właściwości absorbowania dźwięku przez tkaniny w pasmach wysokich częstotliwości, obejmujących również częstotliwości ludzkiej mowy. Stwarza to możliwości ich zastosowania jako dodatkowych elementów wyposażenia, np. w salach konferencyjnych oraz innych pomieszczeniach.

Oprócz zalet wytłumiania akustycznego, ze względu na zaprojektowane wzory, mogą one stanowić dodatkowe ciekawe instalacje artystyczne, podwyższające walory pomieszczeń, w których zostaną zastosowane. Największą barierowość akustyczną osiągnęła tkanina o splocie atlasowym, której struktura jest najbardziej obiecująca w kontekście dalszych badań. W kolejnych badaniach ten splot może posłużyć do budowania bardziej złożonych struktur tkanych.

Tkaniny o splotach płóciennym i skośnym prezentują płaskie charakterystyki częstotliwościowe, o niższej absorpcji dźwięku. Może to stanowić podstawę do badań dla tych tkanin z innymi masami powierzchniowymi oraz licznością nitek wątku i osnowy. Daje to możliwości ich zastosowania przez architektów wewnątrz w maskowaniu źródeł dźwięku przy użyciu tkanin o ciekawych wzorach artystycznych, np. w salach koncertowych.

Dobrymi wynikami pochłaniania dźwięku wykazała się tkanina o splocie rypсовym, i to pomimo posiadania luźnej struktury splotu. Dla jej ustabilizowania, w dalszych badaniach, przewiduje się zwiększenie liczności nitek wątku.

Podczas przeprowadzonych badań nie zauważono znaczącej zależności grubości tkanin względem ich zdolności do absorpcji dźwięku. Warto jednak zaznaczyć, że

bazowano na niewielkich różnicach wartości tego parametru. We wszystkich tkaninach występowały podobne licznosci nitek osnowy stąd brak możliwości bardziej szczegółowego porównania tego parametru do właściwości absorpcyjnych badanych próbek. Bedzie to celem kolejnych planowanych badań.

Najważniejszymi parametrami w kontekście absorpcji dźwięku okazały się masa powierzchniowa i licznosc nitek wątku, co potwierdza tezy wysunięte również przez innych badaczy [1, 2, 7].

Przeprowadzone testy wykazały nowe możliwości zastosowania przebadanych tkanin. Należy również zwrócić uwagę, że wszystkie testy zostały przeprowadzone w pomieszczeniu specjalnie przeznaczonym do badań tego typu. Zastosowanie nowych strategii pomiaru, z wykorzystaniem nowoczesnych technik pomiarowych, w środowisku odpowiadającym rzeczywistym warunkom eksploatacji badanych tkanin, umożliwiło uzyskanie wyników najbardziej wiarygodnych z punktu badań akustycznych.

Przeprowadzone badania są testem wstępnymi, na podstawie których przewiduje się zaprojektowanie nowoczesnych tkanin z podwyższonymi właściwościami eksploatacyjnymi oraz akustycznymi.

Literatura

- [1] **Soltania P., Zarrebini M.,** *Acoustic Performance of Woven Fabrics in Relation to Structural Parameters and Air Permeability*, Journal of the Textile Institute 2013, vol. 104, issue 9, ss. 1011-1016.
- [2] **Barburski M., Blaszczyk J.R., Pawliczak Z.,** *Influence of Designs of Weaves on Acoustic Attenuation of Fabrics*, Journal of Industrial Textiles 2019, Vol. 49(I), ss. 33-45.
- [3] **Memon H., Abro Z.A., Ahmed A., Khoso N.A.,** *Considerations while Designing Acoustic Home Textiles*, Journal of Textile and Apparel Technology and Management 2015, vol. 9, nr 3.
- [4] **Kalebek N. A.,** *Sound Absorbing Polyester Recycled Nonwovens for the Automotive Industry*, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2016., Vol. 24, ss. 107-113.
- [5] **Asdrubali, F., Schiavoni, S., Horoshenkov, K.,** *A Review of Sustainable Materials for Acoustic Applications*, Journal of Building Acoustics 2012, Vol. 19, ss. 283-312.
- [6] **Atkinson C.,** *False Twist Textured Yarns*, Woodhead Publishing Limited., Cambridge 2012.
- [7] **Young A.K, Lee E. N., Lee K.C., Choi S.M., Shi E.J.,** *Acoustic Properties of Sound-Absorbing Polyester Fabrics Woven with Thick Staple and Thin Draw*

- Textured Yarn for Use in Interior Decoration*, The Journal of the Textile Institute 2018, Vol. 110, ss. 202-210.
- [8] **Blaszczyk J.R., Comte-Bellot G., Smolny A.**, *New Aeroacoustic Facility at the Institute of Turbomachinery*, Technical University of Lodz, ZN CMP-Turbomachinery 2005, Vol. 128, ss. 79–86.
- [9] **Blaszczyk J.R.**, *Experimental Investigations of a Turbine Stage Load on Boundary Layers and Noise Generation. Report of the Scientific Project Nr 4T10B04323 (769/T10/2002/23)*, Polish State Committee for Scientific Research, 2005.
- [10] **Blaszczyk J.R.**, *Flow Noise Correlation with Efficiency and Vibration Level*, J. System Science 2006, Vol. 11, ss. 8–15.
- [11] **Blaszczyk J.R.**, *Acoustic Characteristics of an Anechoic Chamber with an Axial Two-Stage LP Model Turbine – Comparative Study*, ZN CMP-Turbomachinery 2016, Vol. 149, ss. 7–16.
- [12] **Kuttruff H.**, *Room Acoustics*, Spon Press, New York 2009.
- [13] **Grosveld F.W.**, *Calibration of the Structural Loads and Transmission Facility at NASA Langley Research Center* [in:] *International Congress on Noise Control Engineering, Vol. 3*, INCE, Fort Lauderdale 1999, ss.1541–1546.
- [14] **Blaszczyk J.R.**, *Performance Improvement and Noise Reduction through Vane and Blade Indexing of a Two-Stage Turbine* [in:] *14th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (29th AIAA Aeroacoustics Conference)*, Vancouver 2008, ss.2008–2941.
- [15] **Blaszczyk J.R.**, *Experimental Studies of the Impact of Changes in Vortex Structures on the Flow Field and the Acoustics of the Turbine. Scientific Report N513 007 31/1260*, Polish State Committee for Scientific Research, 2009.
- [16] **Blaszczyk J.R.**, *Noise Reduction through Vane and Blade Clocking of a Two-Stage Turbine*, *Advanced Vibration Engineering* 2012, Vol. 11, ss.121–129.
- [17] **Smolny A., Blaszczyk J.R.**, *Boundary Layer and Loss Studies on Highly Loaded Turbine Cascade. AGARD/NATO CP-571/4*, [in:] *Propulsion and Energetics Panel*, The Conference Proceedings, 85th Symposium on Loss Mechanisms and Unsteady Flows in Turbomachines, Derby 1995.
- [18] **Abramczyk K.**, *A research on acoustic properties of woven structures*, Unpublished Diploma Thesis, Faculty of Material Technology and Textile Design, Lodz University of Technology, Lodz September 2020.