

**dr hab. inż. Michał Piasecki, prof. ITB**

*(tytuł zawododowy, imię i nazwisko promotora)*

Rozprawa doktorska  
**pt. Emisja lotnych związków organicznych z przegród  
wielowarstwowych z instalacją grzewczą**  
autorstwa Anny Goljan

## **Streszczenie**

Przedmiotem niniejszej rozprawy jest badanie i ocena emisji lotnych związków organicznych (LZO) z układów wielowarstwowych (UW) z instalacją grzewczą. Sformułowano hipotezę dotyczącą wpływu parametrów środowiskowych: temperatury, wilgotności oraz krotności przepływu powietrza na redukcję emisji LZO.

W rozprawie przedstawiono aktualny stan wiedzy dotyczący badań wpływu temperatury na emisję lotnych związków organicznych (LZO), ze szczególnym uwzględnieniem eksperymentów symulujących wpływ ogrzewania podłogowego na emisję LZO. Omówiono analizy naukowe uwzględniające wpływ wilgotności oraz krotności wymiany powietrza na proces redukcji emisji LZO z wyrobów budowlanych. Na tym tle zaprezentowano dostępne dane opisujące modele fizyczne i analityczne charakteryzujące proces emisji LZO. Ponadto, przedstawiono wymagania prawne obowiązujące w omawianym obszarze.

Z analizy dostępnych danych literaturowych wynika uzasadniona potrzeba pogłębienia wiedzy w zakresie metodyki badań emisji LZO z wyrobów budowlanych stosowanych w systemach ogrzewania podłogowego, jak również wpływu parametrów środowiskowych na ten proces. Istotnym elementem pracy jest opracowanie modelu odpowiednio dopasowanego do uzyskanych danych eksperymentalnych. W niniejszej pracy zwrócono uwagę na brak w normach badawczych uwzględnienia specyficznych warunków środowiskowych, takich jak ogrzewanie podłogowe czy podwyższona wilgotność, jak również wymagań dotyczących badania emisji LZO w przedmiotowych normach dla wykończeniowych wyrobów budowlanych.

Część badawcza obejmowała kilka etapów, które ułożono w uzasadniony ciąg metodyczny. W pierwszej kolejności opracowano uniwersalną, autorską metodę oceny emisji lotnych związków organicznych (LZO) z wyrobów budowlanych stosowanych w przegrodach wielowarstwowych z instalacją grzewczą. Metoda ta zawiera innowacyjne elementy, które są związane z konstrukcją próbki badawczej, odzwierciedlającej rzeczywisty układ warstw podłogi grzewczej, oraz z analizą zależności pomiędzy temperaturą warstwy wierzchniej a temperaturą grzałki. Stworzony układ badawczy został połączony ze standardową metodą komorową oceny emisji LZO, zgodnie z normą PN-EN ISO 16000-9, i zastosowany do oceny emisji LZO z materiałów wykończeniowych stosowanych w układach wielowarstwowych. Metodyka badania uwzględniała dwa typy pomieszczeń: suche (S), reprezentowane przez salon, oraz mokre (M), reprezentowane przez łazienkę, z uwagi na różnice w dopuszczalnej temperaturze warstwy wierzchniej. Do oceny emisji LZO wybrano wyroby wykończeniowe dopuszczone do obrotu, głównie na bazie tworzyw sztucznych i rozpuszczalników, które stanowią znaczące źródło emisji LZO.

Kolejny etap obejmował badania układów wielowarstwowych, których kompozycja była dostosowana do ich zastosowania w różnych typach pomieszczeń. Dla pomieszczeń suchych (typ S) zastosowano preparat gruntujący, klej oraz parkiet drewniany, natomiast w pomieszczeniach mokrych (typ M) użyto preparatu gruntującego, hydroizolacji, kleju oraz płytek ceramicznych z fugą.

W celu oceny wpływu ogrzewania podłogowego na emisję LZO, badania prowadzono równolegle w dwóch komorach laboratoryjnych. W pierwszej komorze zasymulowano oddziaływanie ogrzewania podłogowego, podczas gdy w drugiej komorze tego oddziaływania nie zastosowano. Wilgotność względna była dostosowana do typu pomieszczenia: 50% dla pomieszczeń suchych (typ S) oraz 80% dla pomieszczeń mokrych (typ M). Oceniono również wpływ krotności przepływu powietrza na redukcję emisji LZO dla wybranego układu warstwowego (UW) typu S i M. Otrzymane wyniki badań pozwoliły na szczegółową analizę wpływu ogrzewania podłogowego oraz parametrów środowiskowych na emisję lotnych związków organicznych z układów wielowarstwowych. Ponadto umożliwiły określenie eksperymentalnego modelu analitycznego, odzwierciedlającego proces.

Celem badań było określenie wpływu parametrów środowiskowych na emisję lotnych związków organicznych z układów wielowarstwowych. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że dominujący wpływ na metodykę badania oraz redukcję emisji LZO z UW ma temperatura. To ona determinuje parametry układu badawczego poprzez zależność pomiędzy temperaturą medium grzewczego a temperaturą warstw wierzchniej. Ponadto w pomieszczeniach suchych, w znaczący sposób redukuje emisję LZO na etapie stabilizacji procesu (po kilkunastu dniach od zastosowania wyrobu).

Wykazano również, że przy podwyższonej wilgotności, głównie dla związków polarnych w początkowym etapie procesu, wzrost temperatury i wilgotności powodują wzrost emisji lotnych związków organicznych. Na etapie stabilizacji procesu emisji wzrost wilgotności i temperatury powoduje zarówno podwyższenie jak i obniżenie wartości stężeń badanych związków chemicznych.

Następny etap prac badawczych polegał na opracowaniu modelu  $C(t)$ , który umożliwia wyznaczenie profilu regresji stężenia lotnych związków organicznych (LZO) w czasie, na podstawie wyników eksperymentalnych. Dla wytypowanych związków chemicznych określono parametry modelu, w tym stałych desorpcji i dyfuzji ( $k_1$  i  $k_2$ ). Stężenia LZO w funkcji czasu w badaniach eksperymentalnych wykazują opóźnienie w stosunku do modelu jednowarstwowego, a maksymalny pik stężenia pojawia się znacznie później. Jest to wynikiem wyższego oporu dyfuzyjnego w wielowarstwowym systemie podłogowym.

Analizy wskazują, że zaproponowany autorski model, złożony z elementów modelu wg. normy ASTM D 5116 i zaproponowanego logarytmicznego współczynnika opóźnienia  $X$ , lepiej odzwierciedla charakter emisji z wielowarstwowych wyrobów wykończeniowych z instalacją grzewczą. Dopasowanie modelu z wynikami eksperymentalnymi zostało wyrażone współczynnikiem determinacji  $R^2$ .

Uzyskane wyniki badań emisji LZO z układów wielowarstwowych zostały zinterpretowane pod kątem praktycznym, poddane ocenie higienicznej oraz ocenie jakości powietrza wewnętrznego. Wyniki te potwierdziły hipotezę przedstawioną w pracy i wskazały na konieczność dostosowania parametrów środowiskowych badania emisji LZO do warunków zamierzonego stosowania wyrobów budowlanych.

**Słowa kluczowe:** Emisja lotnych związków organicznych, LZO, chromatografia gazowa, podłogi ogrzewane, układy wielowarstwowe wyrobów, warunki środowiskowe, temperatura, krotność przepływu powietrza, wilgotność, modele emisji z wyrobów.

**dr. hab. eng. Michał Piasecki, prof. ITB**

(professional title, name and surname of the supervisor)

**Doctoral Dissertation Entitled**  
**“Emission of volatile organic substances from multilayer partitions**  
**with a heating installation.”**  
**by Anna Goljan**

**Summary**

The subject of this dissertation is the evaluation of volatile organic compounds (VOCs) emissions from multilayer systems (MS) with a heating installation. A hypothesis was formulated regarding the influence of environmental parameters: temperature, humidity, and air exchange rate on the reduction of VOC emissions.

This dissertation succinctly presents the current state of knowledge concerning the methodology of studying the influence of temperature on VOC emissions, with particular emphasis on studies simulating the impact of underfloor heating on VOC emissions. Scientific analyses considering the influence of humidity and air exchange rate on the VOC emission reduction process from construction products are discussed. In this context, available literature data describing physical and analytical models characterizing the VOC emission process are presented. Additionally, the legal requirements applicable in the discussed area are briefly outlined. The analysis of the available literature data indicates a justified need to deepen scientific knowledge in the field of laboratory testing methodologies for VOC emissions from construction products used in underfloor heating systems, as well as the influence of environmental parameters on this process. An important element is the development of a model appropriately tailored to the obtained experimental data. This study also highlights the lack of specific environmental conditions such as underfloor heating or increased humidity in testing standards, as well as the requirements for VOC emission testing in the relevant standards for finishing building products.

The research part included several stages logically arranged in a justified sequence. First, a universal, proprietary method for assessing VOC emissions from construction products used in multilayer partitions with a heating installation was developed. This method includes innovative methodological and research elements related to the construction of the test sample, reflecting the actual multilayer floor heating system, and the analysis of the relationship between the surface layer temperature and the heater temperature. The created test setup was combined with the standard chamber method for assessing VOC emissions, in accordance with PN-EN ISO 16000-9, and applied to evaluate VOC emissions from finishing materials used in multilayer systems. The testing methodology included two types of rooms: dry (D), represented by a living room, and wet (W), represented by a bathroom, due to differences in permissible surface layer temperature. For VOC emission evaluation, finishing products approved for the market, mainly based on plastics and solvents, which are a significant source of VOC emissions, were selected.

The next stage involved studying multilayer systems whose composition was adapted to their use in different types of rooms. For dry rooms (type D), a primer, adhesive, and wooden parquet were used, while for wet rooms (type W), a primer, waterproofing, adhesive, and ceramic tiles with grout were applied.

To assess the impact of underfloor heating on VOC emissions, the studies were conducted simultaneously in two laboratory chambers. In the first chamber, the effect of underfloor heating was simulated, while in the second chamber, this effect was not applied. The relative humidity was adjusted to the room type: 50% for dry rooms (type D) and 80% for wet rooms (type W). The impact of the air exchange rate on VOC emission reduction for selected MS types D and W was also evaluated. The obtained research results allowed for a detailed analysis of the influence of underfloor heating and environmental parameters on VOC emissions from multilayer systems. Additionally, they enabled the optimization of the analytical model.

The primary goal of the research was to determine the influence of environmental parameters on VOC emissions from multilayer systems. Based on the obtained results, it was found that temperature has a dominant influence on the testing methodology and VOC emission reduction from MS. It primarily determines the test system parameters through the relationship between the heating medium temperature and the surface layer temperature. Additionally, in dry rooms, it significantly reduces VOC emissions during the process stabilization stage.

It was also demonstrated that at elevated humidity levels, mainly for polar compounds, an increase in temperature and humidity initially causes an increase in VOC emissions. During the emission stabilization stage, the increase in humidity and temperature results in both an increase and decrease in the concentrations of the studied chemical compounds.

The next stage of the research involved developing a C(t) model, which enables determining the regression profile of VOC concentration over time based on experimental results. For the selected chemical compounds, model parameters, including desorption and diffusion constants ( $k_1$  and  $k_2$ ), were determined. VOC concentrations in experimental studies exhibit a delay compared to the single-layer model, and the maximum concentration peak occurs much later. This is due to the higher diffusion resistance in the multilayer flooring system.

Analyses indicate that the proposed model, composed of elements from the ASTM D 5116 standard and the logarithmic delay coefficient X, better reflects the emission characteristics from multilayer finishing products with a heating installation. The model's fit with experimental results was expressed by the coefficient of determination  $R^2$ .

The obtained VOC emission results from multilayer systems were subjected to hygienic evaluation and indoor air quality assessment. These results confirmed the hypothesis presented in the work and indicated the need to adjust the environmental parameters of VOC emission testing to the conditions of the intended use of construction products.

**Keywords:**

Emission of volatile organic compounds, VOCs, gas chromatography, heated floors, multilayer product systems, environmental conditions, temperature, air flow rate, humidity, product emission models.