

Wpływ ogrzewania podłogowego na emisję lotnych związków organicznych z wyrobów budowlanych

mgr inż. Anna Goljan, Instytut Techniki Budowlanej

1. Wprowadzenie

Jakość powietrza wewnętrznego jest jednym z głównych czynników mających wpływ na nasze zdrowie, komfort przebywania w pomieszczeniach oraz wydajność pracy [1]. Jednym z głównych zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego są lotne związki organiczne, których stężenie w powietrzu wewnętrznym jest znacznie większe niż zewnętrznym. Lotne związki organiczne stanowią szeroką grupę substancji począwszy od węglowodorów alifatycznych, alkoholi, aldehydów, estrów i ketonów do węglowodorów aromatycznych i policyklicznych. Ich obecność w powietrzu wewnętrznym jest często wyczuwalna poprzez charakterystyczny chemiczny zapach, często kojarzony z nowymi elementami wyposażenia czy świeżo wyremontowanymi wnętrzami. Ich wpływ na nasze zdrowie nie jest obojętny i zależy od rodzaju substancji i dawki, na którą jesteśmy narażeni [2–3].

2. Metody badania emisji lotnych związków organicznych

Nie ma jednej ogólnej metody badawczej do oceny lotnych związków organicznych z uwagi na ich różne właściwości: polarność, masę cząsteczkową, temperaturę wrzenia, grupę funkcyjną, czy obecność podstawników.

Najważniejszą grupę metod do badania emisji lotnych związków organicznych i lotnych aldehydów stanowią metody komorowe [4–9]. Wyniki badań emisji metodą komorową zgodnie z normą horyzontalną EN 16516 [6] oraz powiązanymi z nią normami EN ISO 16000-9, ISO 16000-3 i ISO 16000-6 [4, 10–11], stanowią podstawę oceny wyrobów budowlanych we wszystkich europejskich systemach oceny ich emisyjności.

Wyróżniamy dwa typy komór laboratoryjnych: przystawki typu FLEC (rys. 1) [5] i komory w kształcie prostopado-

ścianów (rys. 3) [4, 6–9]. Komora FLEC to okrągła, metalowa przystawka o objętości 0,035 L. Jest przeznaczona do określania poziomów zanieczyszczeń emitowanych z powierzchni płaskich (materiały podłogowe, płyty drewnopochodne, tekstylia) pokrytych farbą, lakierem lub klejem. Urządzenie jest łatwe do transportu i instalacji w dowolnym miejscu w pomieszczeniu. Ze względu na jego niewielkie rozmiary i kształt może służyć do badania niewielkich płaskich powierzchni. Do komory jest doprowadzane czyste powietrze, a z przewodu wylotowego pobierana jest próbka powietrza na odpowiedni sorbent np. węgiel aktywny i Tenax TA do oznaczania emisji lotnych związków organicznych lub żel krzemionkowy z naniesioną 2,4-dinitrofenylohydrazyną (2,4-DNPH) do oznaczania lotnych aldehydów. Bardziej uniwersalne są komory w kształcie prostopadościanu o różnej objętości. Wyróżniamy komory małe, kilkulitrowe, komory o objętości kilkuset litrów oraz komory, które mają kilka metrów szerokości – duże komory w pełnej skali o objętości pokoju. W komorze kontroluje się warunki środowiskowe: temperaturę, wilgotność, prędkość liniową i krotność wymiany powietrza. Wielkość próbki badanej jest odzwierciedleniem w skali rzeczywistej powierzchni stosowania wyrobu: ściany, sufit, podłoga, czy małe krawędzie i jest określona przez współczynnik wypełnienia komory wyrobem L. Powierzchnię próbki oblicza się w oparciu o normy współczynnik wypełnienia komory wyrobem, który wyznacza się na podstawie parametrów europejskiego modelowego pokoju [5], zgodnie z równaniem (1).

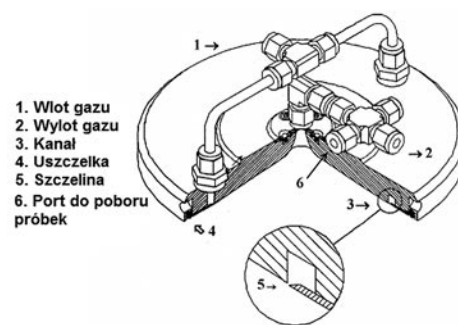
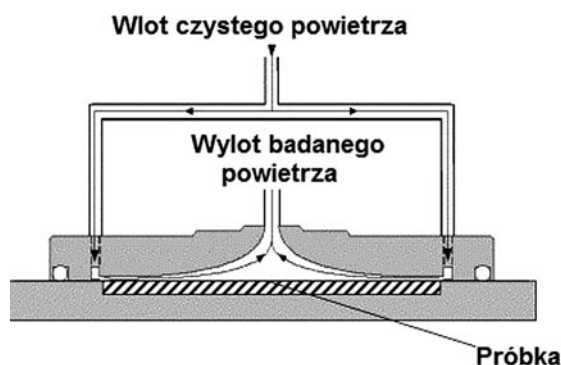
$$L = \frac{P}{V} \quad (1)$$

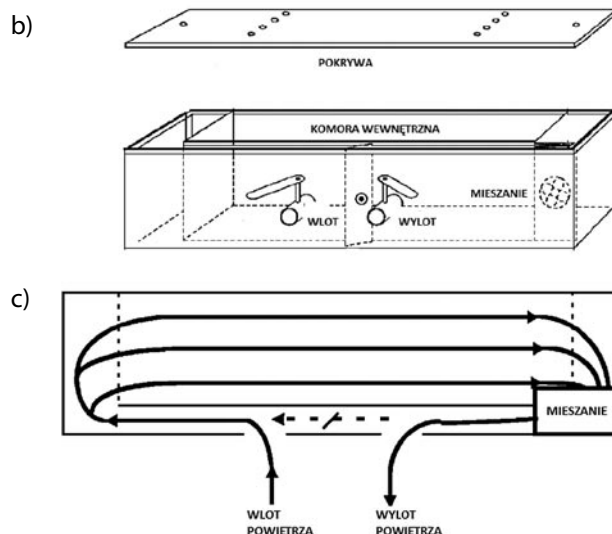
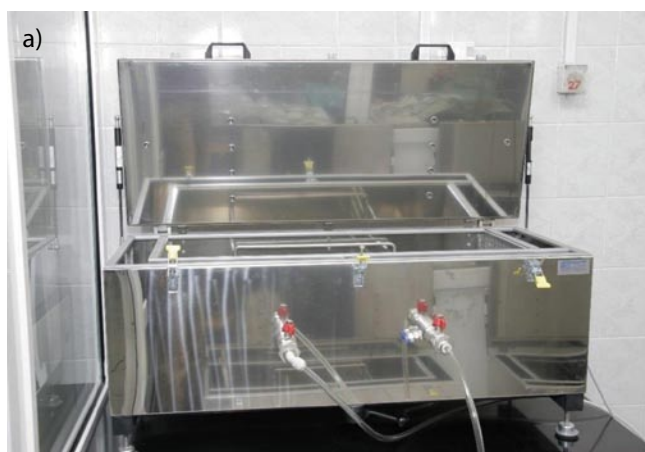
L – współczynnik wypełnienia wyrobem [m^2/m^3],

P – powierzchnia badanego wyrobu [m^2],

V – kubatura modelowego pomieszczenia/komory badawczej [m^3].

Rys. 1. Schemat komory FLEC





Rys. 2. Komora typu CLIMPAQ: a) zdjęcie, b) schemat, c) kierunek przepływu powietrza

Współczynnik L wynosi więc odpowiednio:

- 1,0 m²/m³ dla ścian,
- 0,04 m²/m³ dla podłogi i sufitu,
- 0,007 m²/m³ dla małych krawędzi.

Wynik badania wyrażany jest jako specyficzna powierzchniowa szybkość emisji [μg/m²h] lub stężenie [μg/m³].

Wśród komór możemy wyróżnić komorę typu CLIMPAQ (Chamber for Laboratory Investigations of Materials, Pollution and Air Quality). Cechą charakterystyczną komór typu CLIMPAQ jest układ przegród pomiędzy zaworem wlotowym i wylotowym, wiatrakami zapewniającymi mieszanie powietrza wewnątrz komory oraz wydzieloną wewnętrzną przestrzenią, do której wprowadza się próbkę badaną. Taka budowa komory zapewnia specyficzny ruch powietrza przedstawiony na rysunku 2.

Brak jest znormalizowanej metody określającej warunki badania wpływu temperatury na emisję lotnych związków organicznych. Standardowa temperatura badania emisji LZO wynosi 23°C (+/-1°C) [6]. Natomiast w przypadku wyrobów stosowanych w systemach ogrzewania podłogowego wyroby te podlegają oddziaływaniu temperatur wyższych.

Maksymalna wartość temperatury podłogi grzewczej nie jest regulowana przepisami budowlanymi. W obowiązujących normach można znaleźć wskazania maksymalnej wartości temperatury podłogi. Temperatura podłogi grzewczej dochodząca do 29°C jest wskazana przez normę polską PN-85/N-08013 [12]. Norma europejska PN-EN 1264-3 [13] dzieli strefy na pobytowe i brzegowe, z uwagi na wartość maksymalnej temperatury podłogi grzewczej. W strefach pobytowych zaleca się temperaturę podłogi grzewczej o 9°C wyższą od standardowej temperatury pokojowej, w pomieszczeniach typu łazienka o 13°C, a w strefie brzegowej o 15°C.

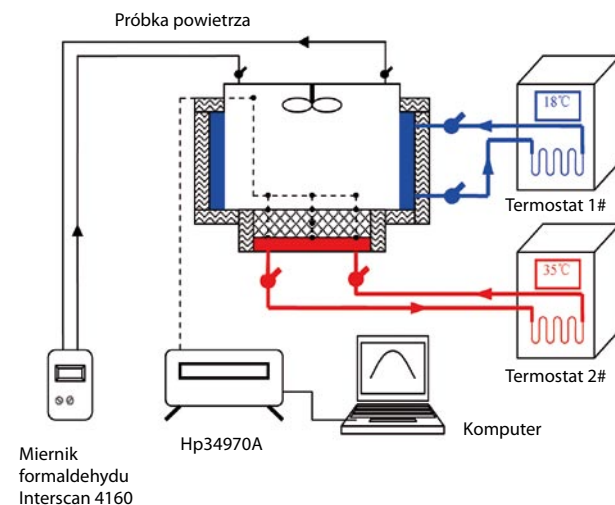
Stąd wynikają maksymalne temperatury podłogi:

- dla pomieszczeń mieszkalnych i biurowych + 29°C,
- dla pomieszczeń mokrych (np. łazienka) + 33°C,
- dla stref brzegowych + 35°C.

W literaturze opisano różne metody oceny wpływu temperatury na emisję LZO z wyrobów budowlanych. W publikacji [9] do oceny wpływu temperatury zastosowano pokój o wymiarach 2x2x2 m, z ogrzewaniem wszystkich badanych powierzchni (podłoga, ściany). W początkowym etapie badań temperatura była równa 8°C przy 10 wymianach powietrza na godzinę (ang. *air changes per hour*/ACH). Po 7 dniach włączono ogrzewanie, a temperatura powietrza osiągnęła 25°C, przy ACH 1 h⁻¹.

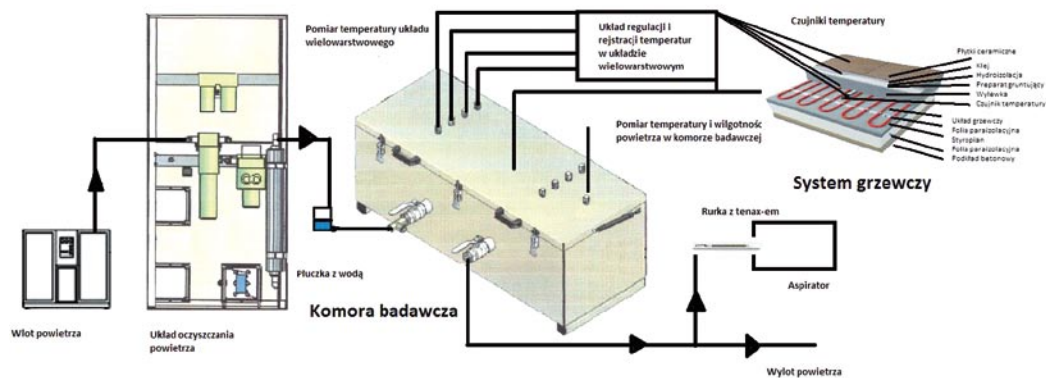
Badanie wpływu temperatury na emisję lotnych związków organicznych były również przeprowadzane w małej komorze badawczej. Przykładem jest opisana w publikacji [9] komora o objętości 50 l, w której zastosowano ogrzewanie od spodu komory i chłodzenie jej boków.

Zgodnie ze schematem (rys. 3) łożnia wodna 1# reguluje temperaturę próbki, która ma być zbliżona do promiennikowego systemu ogrzewania podłogowego, natomiast kąpiel wodna 2# reguluje temperaturę komory, podobnie jak system cyrkulacji powietrza. Temperatura dolnej powierzchni płyty



Rys. 3. Zestaw do badania wpływu temperatury na emisję formaldehydu [9]

Rys. 4. Schemat zestawu do badania emisji lotnych związków organicznych z układów wielowarstwowych stosowanych w ogrzewaniu podłogowym

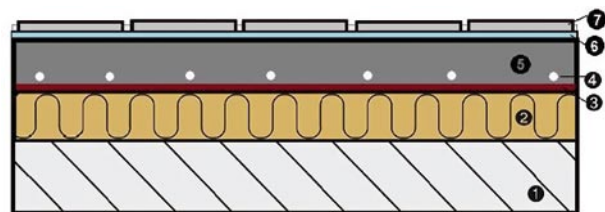


i komory może być regulowana w zakresie od 15 do 55°C. Termopary umieszczono: (1) na dolnej powierzchni płyty, (2) na górnej powierzchni płyty, (3) w komorze 3 cm nad deską, (4) na ścianach wewnętrznych komory, (5) na zewnątrz komory. Rejestrator danych (HP34970A) zastosowano do rejestracji temperatury. Dla wygody hermetyczna komora nie wymienia powietrza, to znaczy współczynnik ACH wynosi zero. Eksperyment prowadzono przez 16 godzin. Temperatura powietrza w komorze wynosiła 25°C w pierwszej połowie eksperymentu, w drugiej wzrosła o 10°C. Temperatura na spodzie próbki była utrzymywana na poziomie 15°C. Stężenie równowagowe C przy $T_c = 35^\circ\text{C}$ było 2 razy większe niż w temperaturze $T_c = 25^\circ\text{C}$.

Kolejnym przykładem oceny wpływu temperatury na emisję LZO był eksperyment bazujący na koreańskim systemie ogrzewania domów ONDOL [14]. Aby utrzymać temperaturę powietrza w pomieszczeniu na poziomie 20°C, temperatura powierzchni podłogi wynosiła około 37°C, a temperatura wylewki betonowej 50°C. Badanie emisji formaldehydu przeprowadzono dla materiałów podłogowych: laminowanych i na bazie sklejk oraz płyt meblowych: MDF i wiórowych oklejonych dekoracyjną folią papierową. Testy wykonywano w temperaturze pokojowej oraz w 37 i 50°C. Badanie przeprowadzono metodą eksykatora. Polegała ona na umieszczeniu próbki wyrobu o wymiarach 5x15 cm w suszarce przez 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20 i 28 dni, a następnie po tym okresie wyjmowano ją z suszarki i umieszczano w eksykatorze o objętości 10 l. Wewnątrz eksykatora umieszczano naczynie z wodą, w której przez 24 godziny absorbowano formaldehyd, a następnie analizowano metodą chromatograficzną.

W Instytucie Techniki Budowlanej opracowano system grzewczy (SG) [7] do badania wpływu temperatury na emisję lotnych związków organicznych z wyrobów stosowanych z ogrzewaniem podłogowym. Głównym elementem SG jest grzałka oraz układ regulacji i monitoringu temperatury wraz z czujnikami temperatury. SG jest kompatybilny z komorą badawczą spełniającą wymagania normy PN-EN 16516 [6]. Schemat zestawu do badania emisji lotnych związków organicznych z układów wielowarstwowych (UW) stosowanych w ogrzewaniu podłogowym w różnych temperaturach przedstawiono na rysunku 4.

W odróżnieniu od przedstawionych powyżej metod badawczych zaproponowany przez ITB schemat próbki do badania



Rys. 5. Schemat przegrody z wbudowaną instalacją ogrzewania podłogowego: 1 – podłoga betonowa, 2 – izolacja termiczna, 3 – folia polietylenowa, 4 – element grzewczy, 5 – bloczek betonowy, 6 – warstwa badanych wyrobów (preparat gruntujący/klej/hydroizolacja), 7 – warstwa wierzchnia (parkiet, płytki ceramiczne)

wpływu temperatury na emisję lotnych związków organicznych z wyrobów budowlanych został opracowany na podstawie rzeczywistych warstw przegrody z wbudowaną instalacją grzewczą (rys. 5).

Głównym elementem próbki był betonowy bloczek o grubości 6 cm, odpowiadający wylewce betonowej. W bloczku zatopiono osłony aluminiowe, które umożliwiają swobodne wprowadzenie czujników temperatury. Na bloczek naniesiono badany układy warstw (UW) wyrobów budowlanych, w skład których wchodziły: preparat gruntujący, hydroizolacja i klej. Zastosowano 2 rodzaje układów warstw, odzwierciedlających praktyczne ich wykorzystanie w pomieszczeniach:

- preparat gruntujący, klej: dedykowane dla pomieszczeń suchych (S),
- preparat gruntujący, hydroizolacja i klej – dedykowane dla pomieszczeń mokrych (M).

Zewnętrzna warstwę próbki stanowiły płytki ceramiczne uzupełnione fugą (dla pomieszczeń typu M) lub parkiet dębowy (dla pomieszczeń typu S). Bloczek z UW umieszczono w ceramicznej obudowie wypełnionej izolacją termiczną ze styropianu podłogowego XPS o grubości 30 mm oraz płytką włóknocementową (4 mm), na której umiejscowiono grzałkę. Wygląd próbek przedstawia rysunek 6.

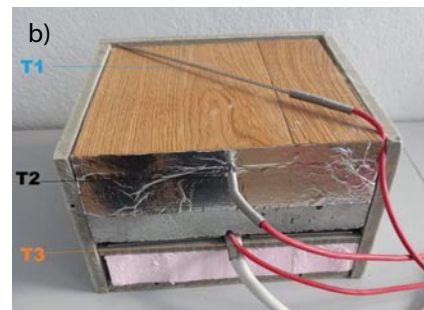
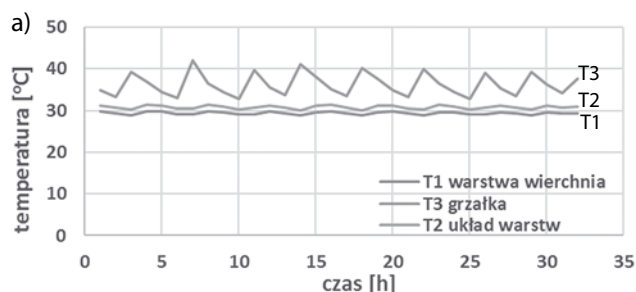
3. Wyniki badań

W celu oceny wpływu temperatury na emisję lotnych związków organicznych z wyrobów budowlanych przeprowadzono

Rys. 6. Próbkę przygotowane do badania



Rys. 7. Próbkę dla pomieszczeń typ S.
a) zależności temperatury, b) rozmieszczenie czujników

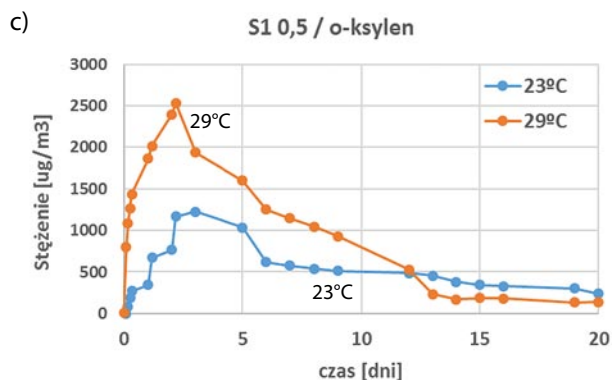
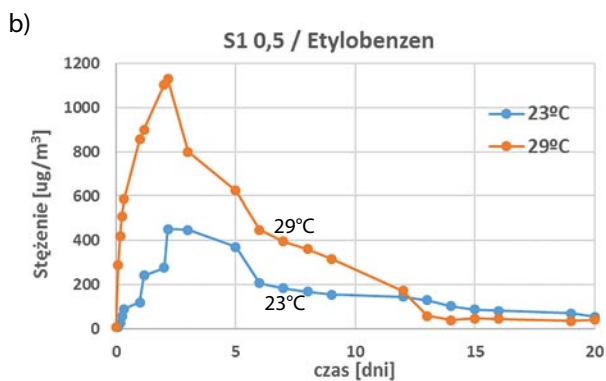
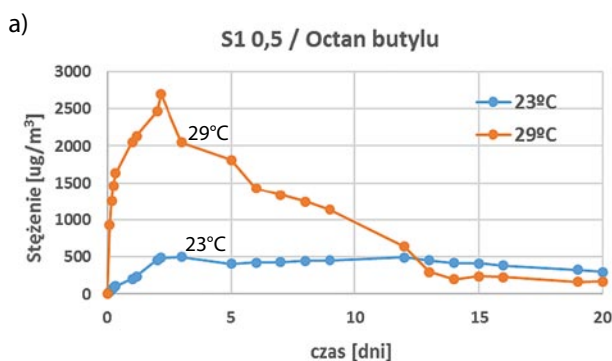


równoległe badanie z użyciem systemu grzewczego w dwóch komorach badawczych. Badaniu poddano układ dwóch wyrobów: preparatu gruntującego i kleju do parkietu, które naniesiono jednocześnie na dwa bloczki betonowe o grubości 6 cm, przygotowując dwie identyczne próbki. W pierwszej komorze utrzymywano temperaturę 23°C (± 2°C) i wilgotność 50% (± 5%), czyli standardowe warunki badań zgodnie z normą EN 16516. W drugiej komorze system grzewczy utrzymywał temperaturę warstwy wierzchniej na poziomie

T1 = 29°C, przy nastawie grzałki T3 = 40°C. Temperatura powłoki badanej próbki utrzymywała się na poziomie T2 = 31°C. Wykresy temperatur T1, T2 i T3 przedstawiono na rysunku 7. Wymiana powietrza w komorach była równa 0,5 1/h.

W celu zbadania zmienności emisji lotnych związków organicznych w czasie próbki powietrza pobierano po: 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 24, 28, 48, 52, 120, 124, 144, 168, 194, 218, 290, 314, 338, 362, 454, 459, 480 godzinach, a następnie poddano analizie chromatograficznej w układzie TD GC-MS. W jej wyniku oznaczono rozpuszczalniki: octan butylu, etylobenzen i o-ksylen. Krzywe czasowe zmian stężenia tych związków w badanych temperaturach przedstawiono na rysunku 8.

Największy wpływ temperatury na emisję lotnych związków organicznych można zaobserwować w początkowych 10 dniach prowadzenia eksperymentu. W pierwszym etapie badania widać wyraźnie, że wraz ze wzrostem temperatury rośnie stężenie badanego związku, osiągając po 3



Rys. 8. Krzywe temperaturowe zależności stężenia w czasie dla octanu butylu (a), etylobenzenu (b) i ksylenu (c) w temperaturze 23 i 29°C

dniach wartość maksymalną. Następnie po stopniowym spadku ulega względnej stabilizacji. Z opracowanych wykresów zależności zmian stężenia poszczególnych związków w czasie można zaobserwować dwa etapy procesu emisji. Pierwszy, w którym emisja wzrasta wraz ze wzrostem temperatury i drugi, w którym następuje zmiana trendu i przy wyższej temperaturze badania emisja LZO z wyrobów jest mniejsza.

4. Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono autorski system grzewczy (SG) do badania emisji lotnych związków organicznych ze wszystkich przegród budowlanych z instalacją grzewczą. System można zaadaptować do każdej komory badawczej spełniającej wymagania europejskiej normy badawczej EN 16516. Symuluje on rzeczywiste warunki ogrzewania elektrycznego, biorąc pod uwagę zależność pomiędzy temperaturą medium a temperaturą zewnętrznej warstwy podłogi. Układ został wykorzystany do badań laboratoryjnych emisji lotnych związków organicznych z układów wielowarstwowych (UW) wyrobów budowlanych stosowanych z ogrzewaniem podłogowym. Badania laboratoryjne potwierdziły, że wraz ze wzrostem temperatury emisja lotnych związków organicznych wzrasta. Stężenie LZO, zarówno dla temperatury pokojowej jak i przy 29°C warstwy wierzchniej, osiąga maksimum w 3 dniu prowadzenia eksperymentu. W tym dniu stężenie n-LZO jest od 2 do 5 razy większe dla 29°C w stosunku do 23°C. Po trzech dniach od rozpoczęcia eksperymentu stężenie LZO maleje, dążąc do stanu równowagi. Względna stabilizacja emisji badanych rozpuszczalników w komorze następuje po około 12 dniach od rozpoczęcia eksperymentu.

Otrzymane wartości stężeń porównano z parametrem EU-LCI „najmniejszym stężeniu znaczącym”, który określa wpływ danego związku na zdrowie człowieka. Uzyskane wartości stężeń dla octanu butylu, etylobenzenu i ksylenu wynoszące odpowiednio 2900 µg/m³, 850 µg/m³, 500 µg/m³

zestawiono z uzyskanymi danymi. Z przeprowadzonej analizy wynika, że po 20 dniach od rozpoczęcia badania wartość EU-LCI w żadnym z omawianych przypadków nie była przekroczona.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Klepeis N. E., Nelson W. C., Ott W. R., Robinson J. P., Tsang A. M., Switzer P., Behar J. V., Hern S. C., Engelmann W. H., A resource for assessing exposure to environmental pollutants. Available from: March Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 11(3)2001, str. 231–252
- [2] WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization, 2010
- [3] Dimosthenis A. Sarigiannis, Spyros P Karakitsios, Alberto Gotti, Ioannis L. Liakos, Athanasios Katsoyiannis. Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk, Environ International 2011 May
- [4] PN-EN ISO 16000-9: 2009: Powietrze wewnątrz – Część 9: Oznaczenie emisji lotnych związków organicznych z wyrobów budowlanych i wyposażenia – Badanie emisji metodą komorową
- [5] PN-EN ISO 16000-10:2010: Powietrze wewnątrz – Część 10: Oznaczenie emisji lotnych związków organicznych z wyrobów budowlanych i wyposażenia – Badanie emisji metodą małej komory
- [6] PN-EN 16516:2017-11: Construction products: Assessment of release of dangerous substances – Determination of emissions into indoor air
- [7] Piasecki M., Kostyrko K.B., Goljan A., The Ability to Control VOC Emissions from Multilayer Building Materials. Appl. Sci. 11/2021, str. 4806
- [8] Sun Sook Kim, Dong Hwa Kang, Dong Hee Choi, Myoung Souk Yeo, Kwang Woo Kim, VOC Emission from Building Materials in Residential Buildings with Radiant Floor Heating Systems Aerosol and Air Quality Research, 12/2012, str. 1398–1408
- [9] Xiaozhong Shena, Juan Shib, and Zhenqian Chen, Experimental Study on the Formaldehyde Emission under Nonisothermal Conditions, Procedia Engineering 121(2015), str. 590–595
- [10] ISO 16000-6: 2011: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID
- [11] ISO 16000-3: 2011: Indoor air – Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air – Active sampling method
- [12] PN-85/N-08013: Ergonomia – Środowiska termiczne umiarkowane – Określenie wskaźników PMV, PPD i wymagań dotyczących komfortu termicznego
- [13] PN-EN 1264-3: 2009: Instalacje wodne grzewcze i chłodzące płaszczyznowe – Część 3: Wymiarowanie
- [14] Sumin Kim and Hyun-Joong Kim, Comparison of formaldehyde emission from building finishing materials at various temperatures in under heating system, ONDOL, Indoor Air 15/2005, str. 317–325

Numer listopadowo-grudniowy „Przeglądu Budowlanego” przedstawia artykuły przygotowane na konferencję „Ekologia a Budownictwo” przez pracowników naukowych Instytutu Techniki Budowlanej i naukowców z uczelni w Bielsku-Białej, Łodzi, Gliwic, Krakowie, Poznaniu, Warszawie, Wrocławiu i Zielonej Górze.

Wyjątkowe podziękowania kierujemy do Przewodniczącego Komitetu Naukowego prof. dr. hab. inż. Leonarda Runkiewicza za opiekę merytoryczną oraz do Sekretarza Naukowego dr. hab. inż. Michała Piaseckiego, prof. ITB za pomoc w przygotowaniu opracowania.

Dziękujemy bardzo za dobrą współpracę – redakcja