

Tomasz Sawoszczuk

*Instytut Nauk o Jakości i Zarządzania Produktem, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie*

## **Analiza lotnych związków organicznych obecnych w powietrzu kapitulorza Archiwum Krakowskiej Kapituły Katedralnej**

### **Powietrze wewnątrz zabytkowych**

Jakość powietrza we wnętrzach zabytkowych ma kluczowe znaczenie dla eksponowanych w nich obiektów. Wszelkie zanieczyszczenia fizyczne i chemiczne obecne w powietrzu bezpośrednio oddziałują na obiekty zabytkowe. Na przykład na zabytkach może sedymentować i gromadzić się kurz, powodując ich zabrudzenie i stwarzając miejsce dogodne dla rozwoju mikroorganizmów. Często bowiem jego osadzające się cząsteczki zawierają związki organiczne, które stanowią źródło pokarmu dla bakterii i grzybów<sup>1</sup>.

Wśród zanieczyszczeń chemicznych obecnych w powietrzu wewnątrz muzealnych można wyróżnić zarówno gazy nieorganiczne, jak i lotne związki organiczne (LZO). Nieorganicznym gazowym zanieczyszczeniem powietrza, które stanowi szczególne zagrożenie dla obiektów zabytkowych, w tym dla tkanin jedwabnych, są dwutlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ) oraz tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ )<sup>2</sup>. Są to tzw. gazy kwaśne, które w kontakcie z parą wodną obecną w powietrzu tworzą kwasy nieorganiczne. Obecnie znaczenie dwutlenku siarki jako zanieczyszczenia zagrażającego obiektom zabytkowym zostało znacznie ograniczone, ponieważ jego głównym źródłem, szczególnie w okresie zimowym, był niskiej jakości węgiel spalany w paleniskach domowych i w elektrociepłowniach. Tymczasem stosowany obecnie węgiel jest odsiarczony. Tlenki azotu stanowią nadal zagrożenie dla obiektów zabytkowych, szczególnie w sytuacji, gdy budynki, w których eksponowane są obiekty, znajdują się w centrach miast, ponieważ głównym emiterym tych związków są obecnie samochody z silnikiem diesla. W godzinach szczytu ruchu ulicznego poziomy stężenie tlenków azotu w centrum Krakowa, w szczególności przy alei

---

1 Zob. T. Sawoszczuk, J. Syguła-Cholewińska, J. Czop, *An Analysis of the Microbial Quality of Air in Selected Facilities of the National Museum in Cracow*, Cracow 2015.

2 Zob.: T. Łojewski, K. Zięba, T. Sawoszczuk, *Trwałość odkwaszonego papieru w atmosferze gazów kwaśnych*, [w:] *Nauka i zabytki. Nauki ścisłe w służbie archeologii, ochronie zabytków oraz historii*, red. T.W. Weker, Warszawa 2008, s. 83-92; N. Luxford, *Reducing the Risk of Open Display: Optimising the Preventive Conservation of Historic Silks*, University of Southampton, Faculty of Law, Arts and Social Science, Textile Conservation Centre, December 2009.

[https://eprints.soton.ac.uk/162153/1/Naomi\\_Luxford\\_Thesis.pdf](https://eprints.soton.ac.uk/162153/1/Naomi_Luxford_Thesis.pdf) [dostęp: 14.01.2021].

Kasińskiego, osiągają bardzo wysokie wartości<sup>3</sup>. Wpływa to na jakość powietrza w budynkach muzealnych w centrum miasta.

Innym zanieczyszczeniem gazowym występującym w powietrzu zabytkowych wnętrz są lotne związki organiczne. Mogą one należe

do różnych grup związków organicznych: od węglowodorów alifatycznych czy aromatycznych, do kwasów organicznych, lub są to związki które oprócz atomów węgla i wodoru zawierają również atomy tlenu, azotu, siarki, chloru, itp. Wśród LZO można wymienić związki, które nie mają wpływu na obiekty zabytkowe, jak również takie, które mogą powodować ich degradację, dotyczącą w szczególności tkanin jedwabnych. Do tych ostatnich można zaliczyć kwasy organiczne, w tym kwas octowy, który może powodować kwasową hydrolizę białka wchodzącego w skład włókien jedwabnych<sup>4</sup>. Należy jednak zaznaczyć, iż kwas octowy jest emitowany również z samych tkanin jedwabnych, ponieważ powstaje on w procesie naturalnej degradacji jedwabiu historycznego, w wyniku rozkładu aminokwasów wchodzących w skład włókien białkowych<sup>5</sup>.

Głównym celem przeprowadzonych badań było wykrycie tzw. mikrobiologicznych lotnych związków organicznych (MLZO) będących markerami obecności aktywnej formy pleśni w pomieszczeniu oraz ogólnie lotnych związków organicznych (LZO) obecnych w pomieszczeniu kapitulacza Archiwum Krakowskiej Kapituły Katedralnej w celu wykrycia związków, które mogą być potencjalnie niebezpieczne dla jedwabnych brytów umieszczonych na ścianach. Badania LZO, obecnych w powietrzu badanego pomieszczenia, przeprowadzono z zastosowaniem techniki Solid Phase Microextraction – Gas Chromatography – Mass Spectrometry (SPME-GC-MS, mikroekstrakcja do fazy stałej – chromatografia gazowa – spektrometria mas).

## **Materiały i metody**

Badania przeprowadzono w dniach 14 lipca 2020 roku (I seria pomiarowa) oraz 23 p października 2020 roku (II seria pomiarowa) na terenie kapitulacza Archiwum Karkowskiej Kapituły Katedralnej. W I serii pomiarowej próby pobrano w 4 miejscach (narożnikach) pomieszczenia, natomiast w II serii pomiarowej próby pobrano w 3 miejscach, w układzie po przekątnej pomieszczenia. Należy podkreślić,

---

3 Zob. <http://monitoring.krakow.pios.gov.pl/dane-pomiarowe/automatyczne/stacja/6/parametry/1711-44-46-202-43-42-45/miesieczny/09.2020> [dostęp: 07.01.2021].

4 Zob. M.A. Koperska, D. Pawcenis, J. Bagniuk, T. Łojewski, J. Łojewska, *Degradation Markers of Fibroin in Silk Through Infrared Spectroscopy*, „Polymer Degradation and Stability” 2014, nr 105, s. 185-196.

5 Zob. *ibidem*.

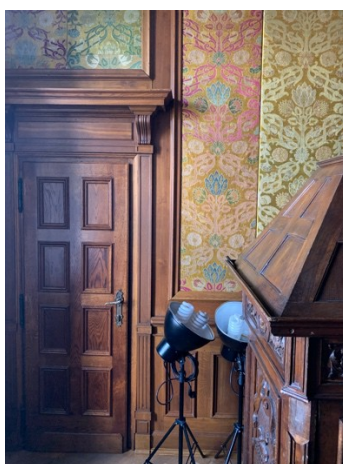
iż zarówno w serii I, jak i II w pomieszczeniu przebywali ludzie. W dodatku w sposób ciągły odbywało się tam skanowanie niezdezynfekowanych dokumentów dostarczanych do kapitulacza z innych sal. Próby LZO pobierano na włókna Solid Phase Microextraction (SPME, mikroekstrakcja do fazy stałej). Włókno składa się z igły, na końcu której znajduje się zestaw trzech sorbentów. Jest wsuwane do igły zabezpieczającej na czas transportu i zabezpieczane nieemitującą gumką. Całość zamontowana jest w tzw. holderze, który umożliwia prawidłową obsługę włókna – jego wsuwanie i wysuwanie. Dodatkowo pomiary prowadzono przy użyciu przenośnej stacji pomiarowej Webber SP86, która wykrywa obecność podwyższonych stężeń alkoholów i aldehydów oraz mierzy stężenie całkowite lotnych związków organicznych obecnych w powietrzu badanego pomieszczenia.

## **Badania lotnych związków organicznych obecnych w powietrzu kapitulacza**

### **Mikroekstrakcja do fazy stałej**

Próbki LZO pobierano techniką SPME; oznacza to, że włókno SPME wysunięte z igły zabezpieczającej umieszczano w danym punkcie pomiarowym tak, aby w sposób swobodny pobór LZO odbywał się wprost z fazy gazowej dookoła włókna. Do badań zastosowano tzw. włókno kanapkowe, składające się z trzech różnych sorbentów (diwinylobenzen, karboksen, polidimetylosiloksan, DVB/CAR/PDMS) (Supelco, Polska). Przed przeprowadzeniem poboru próbek każde włókno SPME umieszczano na godzinę w porcie iniekcyjnym chromatografu gazowego (temp. 270°C), w celu zdesorbowania wszystkich związków lotnych znajdujących się na powierzchni włókna (oczyszczanie włókna) zgodnie z instrukcją producenta. Następnie włókno zabezpieczano nieemitującą gumką. W miejscu poboru włókno odbezpieczano, następnie holder umieszczano w miejscu poboru, po czym włókno wysuwano z igły. Sorpcję LZO z fazy gazowej w pomieszczeniu prowadzono przez 1 godzinę. Po zakończeniu sorpcji włókno wsuwano do igły, igłę zabezpieczano gumką. Po przetransportowaniu do laboratorium igłę włókna odbezpieczano i umieszczano w dozowniku chromatografu gazowego. Następnie

włókno w dozowniku wysuwano i rozpoczynano analizę LZO zaadsorbowanych na włóknie. Dodatkowo w miejscu wykonywanych badań równolegle pobierano próbę odniesienia, czyli na oddzielnie przygotowane włókno sorbowano przez 10 sek. LZO obecne w fazie gazowej w pomieszczeniu. Temperatura w dozowniku chromatografu gazowego w czasie desorpcji LZO wynosiła 250°C. Desorpcję prowadzono 15 min. Był to czas wystarczający do całkowitego zdesorbowania wszystkich związków z powierzchni włókna SPME, co zostało potwierdzone po wykonaniu ponownej desorpcji tego samego włókna. Nie występowało zjawisko przenoszenia analitów pomiędzy kolejnymi pomiarami.



Fot. 1. Jedno z miejsc poboru prób LZO (strzałką zaznaczono miejsce umieszczenia włókna SPME)

## **Pomiary z zastosowaniem przenośnej stacji pomiarowej Webber SP86**

Pomiary z zastosowaniem przenośnej stacji pomiarowej Webber SP86 przeprowadzono w tych samych punktach pomiarowych, w których wykonano pobór prób LZO z użyciem włókien SMPE. Stacja pomiarowa pozwala zmierzyć poziomy stężenia alkoholów i aldehydów (jako suma) w badanym powietrzu, całkowite stężenie LZO w miejscu badań oraz poziom zapylenia pyłami PM<sub>2,5</sub> oraz PM<sub>10</sub>. Wynik pomiaru jest wyświetlany na bieżąco na ekranie urządzenia. Pomiary z zastosowaniem przenośnej stacji pomiarowej prowadzono w danym punkcie przez 15 min., w celu uśrednienia wyniku.

Fot. 2. Przykład pomiaru z użyciem przenośnej stacji pomiarowej Webber SP86



### **Analiza chromatograficzna**

Analiza LZO pobranych na włókna SPME prowadzona była w układzie chromatograf gazowy – kwadrupolowy spektrometr mas (GC-MS). Dozownik wyposażony był w liner przeznaczony do desorpcji włókien SPME. Podczas desorpcji LZO z włókna iniektor utrzymywano w trybie pracy *splitless*. Rozdział związków prowadzono w kolumnie kapilarnej RXi-5MS (Restek, USA): 30 m, średnica wewnętrzna 0,25 mm ID, grubość złoża 0,25  $\mu\text{m}$ . Przepływ helu w trakcie rozdziału 1ml/min. Program temperaturowy analizy był następujący: 35°C utrzymywane przez 10 min., wzrost temperatury od 35°C do 220°C z prędkością 5°C/min., 220°C utrzymywane przez 5 min., wzrost temperatury od 220°C do 250°C z prędkością 10°C/min., 250°C utrzymywane przez 10 min. Parametry pracy spektrometru masowego: temperatura linii transferowej: 250°C, jonizacja elektronami (EI) o energii 70eV, zakres pomiarowy mas 33-650 m/z, pomiar całkowitego prądu jonowego (TIC). LZO identyfikowane były na podstawie bibliotek widm masowych (NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library) dostępnych w programie NIST MS Search, wersja 2.0.

### **Badania z użyciem przenośnej stacji pomiarowej**

W celu udokumentowania wyników pomiarów wykonanych przy użyciu przenośnej stacji Webber SP86 po ustabilizowaniu wskazań stacji pomiarowej w danym punkcie pomiarowym (po 15 min.) wykonywano zdjęcie.

## Wyniki analizy

### Wyniki analizy chromatograficznej

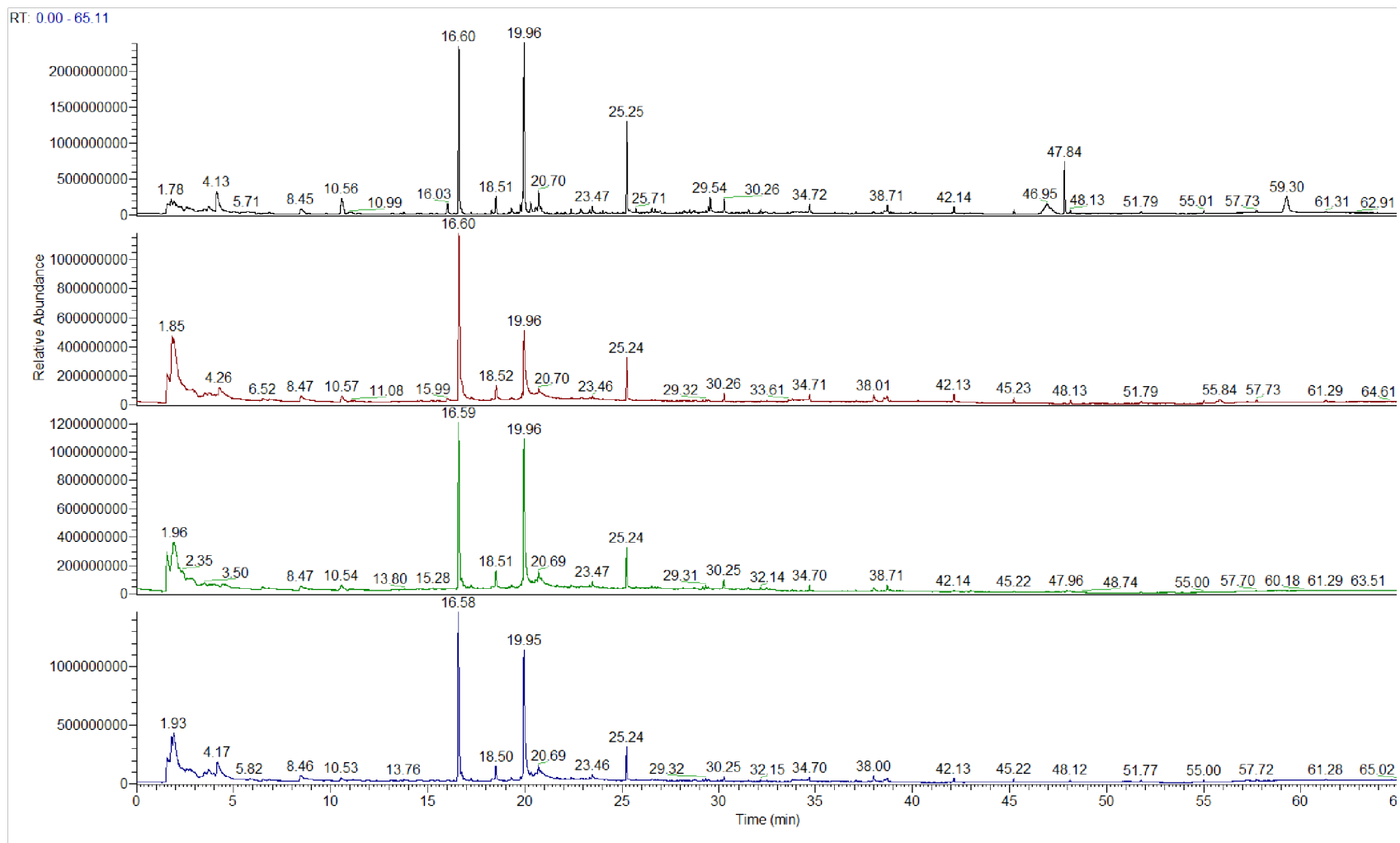
Przeprowadzono szczegółową analizę jakościową chromatogramów uzyskanych dla LZO obecnych w powietrzu kapitulacza w I i II serii pomiarowej. Analiza jakościowa została wykonana w programie AMDIS (Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System, wersja 2.70, maj 13. 2011). Widma masowe zarejestrowane pod chromatogramami poddano dekonwolucji, a następnie prowadzono identyfikację związków na podstawie bibliotek widm masowych (NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library) dostępnych w programie NIST MS Search. Analiza jakościowa, jak i ilościowa, zostały przeprowadzone dla chromatogramów uzyskanych dla LZO obecnych w powietrzu badanego pomieszczenia. Wyniki analizy przedstawiono w poniższej tabeli. Przykładowe chromatogramy przedstawiono poniżej.

#### *Wyniki analizy chromatograficznej w I serii pomiarowej*

Tabela 1. Wyniki analizy chromatogramów uzyskanych dla poszczególnych próbek 1-4, pobranych w 4 narożnikach pomieszczenia w I serii pomiarowej

Czas retencji w chromatogramie [min.]	Nazwa związku	Możliwe pochodzenie
6,53/6,52/6,49/6,51	toluen	naturalne zanieczyszczenie
8,45/8,47/8,46/8,49	heksanal	
9,76/9,79/9,75/9,74	octan butylu	możliwy produkt degradacji jedwabiu
13,16/13,16/13,13/13,12	ksylen	naturalne zanieczyszczenie
15,15/15,16/15,15/15,15	heptanal	
16,60/16,60/16,59/16,58	pinen	związek emitowany z drewna

18,51/18,52/18,51/18,50	beta-pinen	związek emitowany z drewna
16,69/19,96/19,96/19,95	karen	związek emitowany z drewna
20,70/20,70/20,69/20,69	limonen	związek emitowany z drewna
23,47/23,46/23,47/23,46	nonanal	możliwy produkt degradacji jedwabiu



Rys. 1. Chromatogram uzyskany dla LZO zaadsorbowanych w pomieszczeniu kapilarza w I serii pomiarowej



Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 1 można stwierdzić, iż w chromatogramach dominowały związki emitowane z drewna znajdującego się w sali kapitułarza. Dodatkowo w powietrzu zidentyfikowano produkty naturalnej degradacji jedwabiu, tj. octan butylu i nonanal<sup>6</sup>, nie stwierdzono natomiast podwyższonych stężeń kwasu octowego czy innych kwasów organicznych, które mogłyby stanowić zagrożenie dla zamontowanych na ścianach brytów jedwabnych, świeżo poddanych konserwacji. Nie wykryto również mikrobiologicznych lotnych związków organicznych (MLZO). Co świadczy o tym, iż w pomieszczeniu nie występują aktywnie rozwijające się grzyby pleśniowe.

### ***Wyniki pomiarów przeprowadzonych z użyciem przenośnej stacji pomiarowej w I serii pomiarowej***

Wyniki pomiarów przeprowadzonych przy użyciu przenośnej stacji pomiarowej zarejestrowano jako zdjęcia.



Fot. 3. Badanie jakości powietrza przy użyciu przenośnej stacji pomiarowej w pomieszczeniu kapitułarza w I serii pomiarowej

<sup>6</sup> Zob. *ibidem*.

Wyniki pomiarów, przeprowadzonych przy użyciu przenośnej stacji pomiarowej w pomieszczeniu kapitularza w I serii pomiarowej (14 lipca 2020 roku), które przedstawiono na powyższych zdjęciach, wskazują, iż w badanym pomieszczeniu panowało wysokie zapylenie (PM10 = 999). Mogło to wynikać z faktu, iż przebywało w nim kilka przemieszczających się osób, w tym te wykonujące pomiar. Dodatkowo w wielu miejscach w pomieszczeniu rozłożone były zabytkowe, zakurzone arkusze nutowe, które były przenoszone w trakcie wykonywania pomiaru celem przeprowadzenia ich skanowania. Czynniki te, w połączeniu z wysoką temperaturą panującą we wnętrzu, sprzyjały powstawaniu zapylenia przekraczającego skalę pomiarową w urządzeniu.

Należy również zwrócić uwagę na podwyższone stężenia całkowite lotnych związków organicznych (CLZO = TVOC), zmierzone w czterech kątach kapitularza. Osiągały one wartości około 3mg/m<sup>3</sup> powietrza, czyli 929 ppb. Według cytowanego opracowania<sup>7</sup> zmierzona wartość stężenia CLZO w badanym pomieszczeniu była powyżej wysokiej wartości stężeń LZO (840 ppb) ale poniżej bardzo wysokiej wartości stężeń LZO (2040 ppb) Jednak jak podaje Autorka opracowania przy takim stężeniu CLZO należy podjąć działania naprawcze mające na celu obniżenie stężeń LZO w pomieszczeniu. Dodatkowo wysokie stężenie CLZO = 929 ppb może powodować poczucie dyskomfortu u osób przebywających w pomieszczeniu<sup>8</sup>.

## **Wyniki analizy chromatograficznej w II serii pomiarowej**

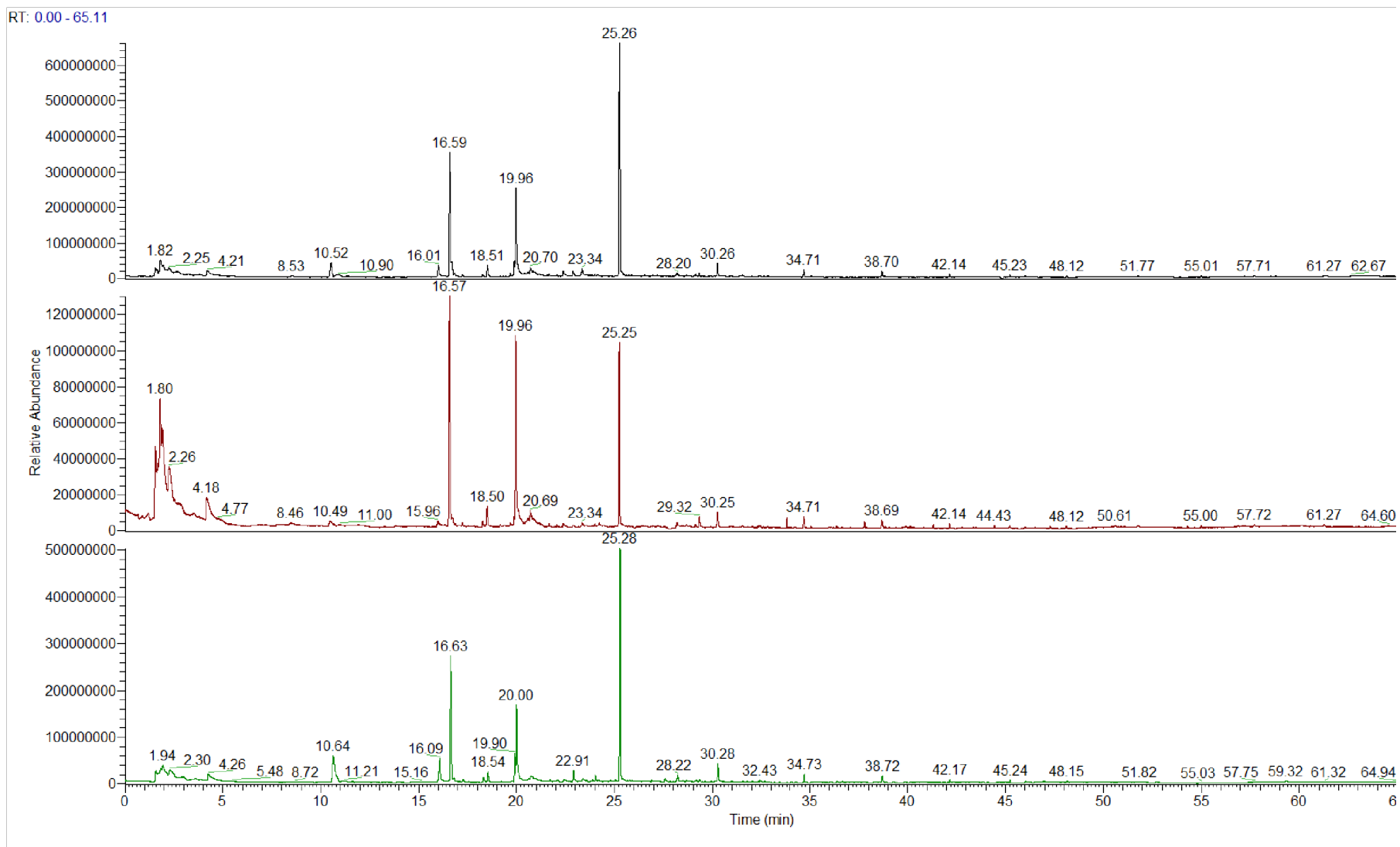
Wyniki analizy chromatograficznej próbek LZO pobranych w trzech miejscach w pomieszczeniu kapitularza (przekątna) przedstawiono w tabeli 2 oraz na rys 2.

Tabela 2. Wyniki analizy chromatogramów uzyskanych dla poszczególnych próbek 1-3, pobranych w 3 punktach pomieszczenia w II serii pomiarowej

<sup>7</sup> Zob. C.M. Grzywacz, *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*, Los Angeles 2006.

<sup>8</sup> Zob.: European Commission Joint Research Centre – Environment, *Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. Report No. 19*, Brussels 1997, [http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our\\_activities/public-health/indoor\\_air\\_quality/eca/eca\\_report\\_19](http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_activities/public-health/indoor_air_quality/eca/eca_report_19) [dostęp: 07.01.2021]; Joint Research Centre – Environment Institute, *Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings. Report No. 11*, Luxembourg 1992; K. Hess-Kosa, *Indoor Air Quality. The Latest Sampling and Analytical Methods*, Boca Raton 2011.

Czas retencji w chromatogramie [min.]	Nazwa związku	Możliwe pochodzenie związku
8,53/8,46/8,70	heksanal	
13,80/13,79	octan 1-metoksy-2-propylu	możliwy produkt degradacji jedwabiu
16,59/16,57/16,63	pinen	związek emitowany z drewna
17,23/17,22/17,27	kamfen	związek emitowany z drewna
18,27/18,26/18,30	wanilina	związek emitowany z drewna (lignina)
18,51/18,50/18,54	beta-pinen	związek emitowany z drewna
19,96/19,96/20,00	karen	związek emitowany z drewna
20,70/20,69/20,74	limonen	związek emitowany z drewna
22,38/22,39/22,42	2,6-dimetylo-7-okten-2-ol	związek emitowany z drewna



Rys. 2. Chromatogram uzyskany dla LZO zaadsorbowanych w pomieszczeniu kapilarza w II serii pomiarowej

Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 2 można stwierdzić, iż w II serii pomiarowej w chromatogramach nie zidentyfikowano naturalnych zanieczyszczeń powietrza takich jak toluen i ksylen, które wykryto w I serii pomiarowej. Jednak, podobnie jak w I serii pomiarowej, w chromatogramach dominowały związki emitowane z drewna znajdującego się w sali kapitulacza. W tej serii pomiarowej w powietrzu badanego pomieszczenia zidentyfikowano również produkt naturalnej degradacji jedwabiu, tj. octan 1-metoksy-2-propylu<sup>9</sup>. W tej serii pomiarowej w powietrzu nie stwierdzono podwyższonych stężeń kwasu octowego czy innych kwasów organicznych, które mogłyby stanowić zagrożenie dla zamontowanych na ścianach brytów jedwabnych, świeżo poddanych konserwacji. Nie wykryto również mikrobiologicznych lotnych związków organicznych (MLZO), co świadczy o tym, iż w pomieszczeniu nie występują aktywnie rozwijające się grzyby pleśniowe.

### ***Wyniki pomiarów przeprowadzonych z użyciem przenośnej stacji pomiarowej w II serii pomiarowej***

Podobnie jak w I serii pomiarowej wyniki pomiarów przeprowadzonych przy użyciu przenośnej stacji pomiarowej zarejestrowano jako zdjęcia.



Fot. 4. Badanie jakości powietrza przy użyciu przenośnej stacji pomiarowej w pomieszczeniu kapitulacza w II serii pomiarowej

<sup>9</sup> Zob. M.A. Koperska, D. Pawcenis, J. Bagniuik, T. Łojewski, J. Łojewska, *op. cit.*

Analiza wyników uzyskanych w II serii pomiarowej pozwala stwierdzić, iż w tym przypadku, odmiennie niż w I serii pomiarowej, poziom zanieczyszczenia powietrza pyłami w pomieszczeniu kapitułarza był znacznie niższy. PM<sub>2,5</sub> nie przekraczało wartości 20, natomiast PM<sub>10</sub> nie przekraczało wartości 23. Oznacza to, że jakość powietrza w pomieszczeniu w II serii pomiarowej była znacznie lepsza. Wynika to z faktu, iż w trakcie wykonywania pomiarów w II serii pomiarowej we wnętrzu przebywało mniej osób w porównaniu z I serią pomiarową. Ponad to znajdowała się tam znacznie mniejsza liczba zabytkowych, zanieczyszczonych arkuszy nutowych, przeznaczonych do skanowania.

Mniejsza liczba osób przebywających w pomieszczeniu kapitułarza w trakcie wykonywania pomiaru, a także mniejsza ilość materiału historycznego przechowywanego w tym czasie w pomieszczeniu, wpłynęły również na obniżenie całkowitego stężenia LZO – CLZO, jakie zmierzono. W tej serii pomiarowej CLZO wynosiło 19 ppb. Co oznacza, że zgodnie z wytycznymi opracowanymi w pozycji Cecilly M. Grzywacz<sup>10</sup> zmierzona wartość całkowitego poziomu stężenia LZO jest na poziomie ogólnie akceptowalnym dla kolekcji.

## **Podsumowanie**

Podsumowując wyniki pomiarów uzyskane w badaniach jakości powietrza w pomieszczeniu kapitułarza Archiwum Krakowskiej Kapituły Katedralnej w dwóch seriach pomiarowych, można stwierdzić, iż w I serii pomiarowej zmierzona jakość powietrza była zła, ponieważ oba mierzone parametry – liczba cząstek stałych (PM<sub>10</sub>), jak i całkowite stężenie LZO (CLZO), osiągnęły bardzo wysokie wartości, wskazując na silne zanieczyszczenie powietrza, co połączono z obecnością dużej liczby osób znajdujących się w pomieszczeniu oraz z przechowywaniem w nim wielu zanieczyszczonych arkuszy nutowych. Wyznaczona wartość CLZO – 929 ppb, przekraczała granicę wysokiego stężenia LZO w kolekcji (840 ppb)<sup>11</sup>, co oznaczało, że należałyby podjąć działania naprawcze. Proponowanym rozwiązaniem mogłoby

---

<sup>10</sup> Zob. C.M. Grzywacz, *op. cit.*.

<sup>11</sup> Zob. *ibidem.*,

być zastosowanie pojemników z węglem aktywnym (sorbent), który sorbowałby LZO z otoczenia<sup>12</sup>.

Jednak biorąc pod uwagę kubaturę pomieszczenia kapitulacza, należałoby zastosować bardzo duże ilości sorbentu. Przy takich ilościach węgla aktywnego umieszczonego w pomieszczeniu niemożliwym byłoby utrzymanie odpowiedniego poziomu wilgotności względnej wnętrza, gdyż węgiel aktywny adsorbuje również wodę. Z kolei gwałtowne przesuszenie pomieszczenia mogłoby spowodować skurcz włókien białkowych w tkaninach jedwabnych, zamontowanych na ścianach pomieszczenia, czego efektem mogłoby być ich mechaniczne uszkodzenie, prowadzące do zerwania, tym samym do zniszczenia brytów. Jest to bardzo prawdopodobne, gdy uwzględni się fakt, iż opisywane historyczne tkaniny jedwabne pochodzą z XVII wieku. Są one w związku z tym naturalnie postarzałe i z biegiem lat utraciły właściwości mechaniczne. Dlatego zakończona konserwacja obejmowała również między innymi mechaniczne wzmocnienie brytów. Dodatkowo należy podkreślić, iż zastosowanie węgla aktywnego nie obniży zapylenia ani nie obniży liczby bakterii i grzybów w powietrzu.

Na podstawie wyników uzyskanych w II serii pomiarowej wykazano, że innym, mniej niebezpiecznym dla tkanin jedwabnych rozwiązaniem, mającym uchronić je przez zapyleniem i zanieczyszczeniami powietrza, jest ograniczenie liczby osób przebywających w kapitulacu. Podobnie ilość materiału historycznego przeznaczonego do skanowania, która jest jednorazowo przechowywana w pomieszczeniu powinna być również ograniczona do niezbędnego minimum. W II serii pomiarowej zarówno poziom zapylenia, jak i całkowite stężenie LZO spełniało normy ogólnie przyjęte dla kolekcji.

---

12 Zob. J. Tetreault, *Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management*, Ottawa 2003.

## Bibliografia

European Commission Joint Research Centre – Environment, *Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. Report No. 19*, Brussels 1997, [http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our\\_activities/public-health/indoor\\_air\\_quality/eca/eca\\_report\\_19](http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_activities/public-health/indoor_air_quality/eca/eca_report_19) dostęp: 07.01.2021].

Grzywacz C.M., *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*, Los Angeles 2006

Hess-Kosa K., *Indoor Air Quality. The latest Sampling and Analytical Methods*, Boca Raton 2011.

Joint Research Centre – Environment Institute, *Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings. Report No. 11*, Luxembourg 1992

Koperska M.A., Pawcenis D., Bagniak J., Łojewski T., Łojewska J., *Degradation Markers of Fibroin in Silk Through Infrared Spectroscopy*, „Polymer Degradation and Stability” 2014, nr 105, s. 185-196.

Luxford N. *Reducing the Risk of Open Display: Optimising the Preventive Conservation of Historic Silks*, University of Southampton, Faculty of Law, Arts and Social Science, Textile Conservation Centre, December 2009, [https://eprints.soton.ac.uk/162153/1/Naomi\\_Luxford\\_Thesis.pdf](https://eprints.soton.ac.uk/162153/1/Naomi_Luxford_Thesis.pdf) [dostęp: 14.01.2021].

Łojewski T., Zięba K., Sawoszczuk T., *Trwałość odkwaszonego papieru w atmosferze gazów kwaśnych*, [w:] *Nauka i zabytki. Nauki ścisłe w służbie archeologii, ochronie zabytków oraz historii*, red. T.W. Weker, Warszawa 2008, s. 83-92

Sawoszczuk T., Syguła-Cholewińska J., Czop J., *An Analysis of the Microbial Quality of Air in Selected Facilities of the National Museum in Cracow*, Cracow 2015.

Tetreault J., *Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment*,

*Control Strategies, and Preservation Management*, Ottawa 2003.

<http://monitoring.krakow.pios.gov.pl/dane-pomiarowe/automatyczne/stacja/6/parametry/1711-44-46-202-43-42-45/miesieczny/09.2020> [dostęp: 07.01.2021].

