

## PARAMETRY POWIETRZA PODCZAS PRACY LAKIERNI AUTOBUSOWEJ NA WYBRANYM PRZYKŁADZIE

Zasadniczą treść tego artykułu stanowi przedstawienie parametrów powietrza wentylacyjnego, które wystąpiły podczas ich pomiarów, przeprowadzonych w czasie pracy lakierni autobusowej. Przedstawiono rozkłady temperatur, wilgotności względnej, prędkości ruchu powietrza w lakierni oraz stężenia dwutlenku węgla, a także wyciągnięto wnioski z wyników pomiarów. Omówiono także zagadnienia, związane z komfortem cieplnym oraz jego wpływem na warunki pracy pracownika w lakierni. Szczególny nacisk położono na scharakteryzowanie wpływu dwutlenku węgla na organizm ludzki. Zawarto również informacje o dopuszczalnych wartościach tego trującego gazu w pomieszczeniach lakierni, wynikające z obowiązujących przepisów.

### WSTĘP

Lakiernia autobusowa jako miejsce pracy musi spełniać szereg wymagań dotyczących jakości i ilości powietrza [1,2,3]. Wentylacja, czyli proces, który ma za zadanie wymianę powietrza w budynku, jest bardzo ważnym elementem, pozwalającym na sprawne funkcjonowanie takiego warsztatu. Rozróżnia się wiele typów i rodzajów systemów wentylacyjnych [4]:

- a) z centralnym uzdatnianiem powietrza nawiewanego:
  - urządzenia jednoprzewodowe o zmiennej temperaturze powietrza nawiewanego, które dostarczają do pomieszczeń wyłącznie powietrze zewnętrzne (z zastosowaniem odzysku ciepła lub bez niego),
  - urządzenia jednoprzewodowe o zmiennej temperaturze powietrza nawiewanego z recyrkulacją powietrza wywiewanego,
  - urządzenia dwuprzewodowe o zmiennej temperaturze powietrza nawiewanego,
- b) ze strefowym uzdatnianiem powietrza nawiewanego:
  - wielostrefowe urządzenia jednoprzewodowe o zmiennej temperaturze nawiewu,
- c) z rozdzielonym uzdatnianiem powietrza:
  - urządzenia jednoprzewodowe z klimakonwektorami,
  - urządzenia jednoprzewodowe z wentylokonwektorami,
- d) zmiennym przepływem powietrza:
  - urządzenia jednoprzewodowe o zmiennym strumieniu powietrza wentylacyjnego,
  - urządzenia jednoprzewodowe o zmiennym strumieniu i temperaturze powietrza wentylacyjnego,
  - urządzenia jednoprzewodowe o zmiennym strumieniu powietrza wentylacyjnego z oddzielnym systemem ogrzewania pomieszczeń,
  - urządzenia dwuprzewodowe o zmiennym strumieniu powietrza wentylacyjnego,
  - urządzenia indukcyjne o zmiennym strumieniu powietrza wentylacyjnego,
- e) indywidualne i inne:
  - klimatyzatory indywidualne,
  - urządzenia chłodzące powietrze w systemie rozdzielonym,
  - pompa ciepła pracująca w cyklu odwróconym,
  - sufity i belki chłodzące.

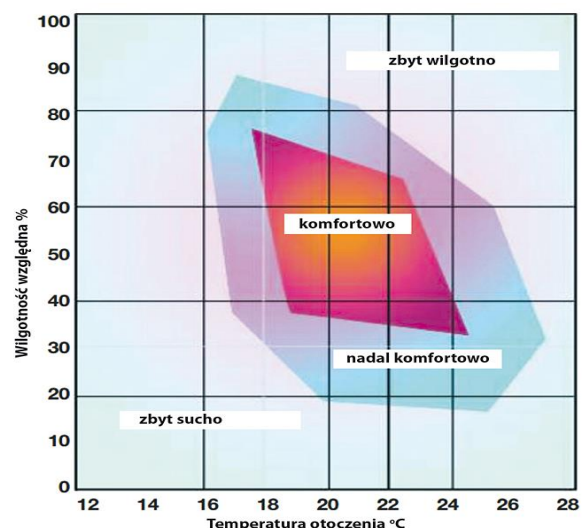
Niniejszy artykuł dotyczy tylko zagadnień związanych z warunkami komfortu cieplnego w lakierni na który wpływają parametry powietrza we wnętrzu warsztatu. Zostaną one omówione na wybranym przykładzie.

Autorzy zdają sobie sprawę, że ze względu na charakter wykonywanej pracy, oprócz parametrów wchodzących w skład oceny komfortu cieplnego (temperatura powietrza, temperatura przegród, wilgotność względna i, ewentualnie, stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniu) istotną rolę odgrywają również emisje szkodliwych substancji, jednakże nie będą one tematem rozważań w niniejszym opracowaniu.

### 1. WARUNKI KOMFORTU CIEPLNEGO

Istotnym zagadnieniem, związanym z warunkami pracy w lakierni jest utrzymywanie tak zwanego komfortu cieplnego. Jest to nic innego jak stan zrównoważonego bilansu cieplnego z otoczeniem (ciepło wytworzone przez organizm jest równe ciepłu traconemu do otoczenia) oraz braku odczuwania nadmiernego przegrzania lub ochłodzenia części ciała [5].

Na rysunku 1 przedstawiono wykres komfortu cieplnego w odniesieniu do średniej temperatury powietrza i wilgotności względnej.



Rys. 1. Wykres komfortu cieplnego [6]

W celu wyznaczenia poziomu komfortu cieplnego przez człowieka wprowadzony został wskaźnik PMV (ang. predicted mean vote), czyli przewidywanej oceny średniej; został on przedstawiony w Tabeli 1.

**Tab. 1. Przewidywana średnia ocena komfortu cieplnego [7]**

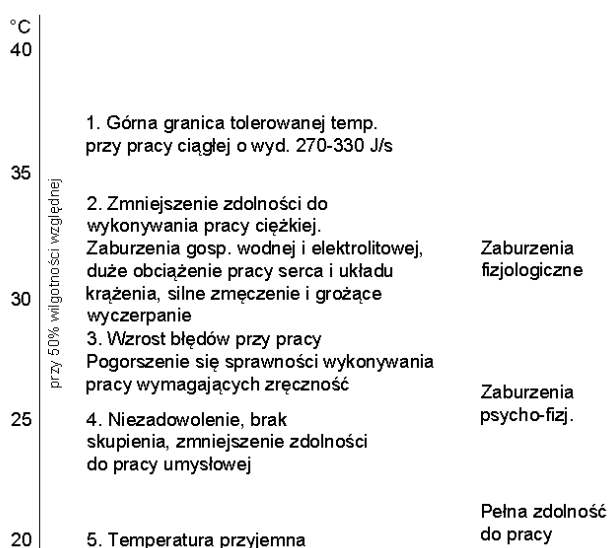
Skala	Odczucie
+3	Gorąco
+2	Ciepło
+1	Lekko ciepło
0	Neutralnie
-1	Lekko chłodno
-2	Chłodno
-3	Zimno

Wskaźnik PMV służy do sprawdzenia (lub określenia) czy dane środowisko termiczne spełnia kryterium komfortu cieplnego.

Na odczucie parametrów mikroklimatu u pracownika decyduje wiele czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Spośród nich najważniejsze to [4]:

- a) czynniki wewnętrzne:
  - subiektywne odczucie temperatury,
  - stopień aktywności fizycznej, związany z rodzajem wykonywanej pracy,
  - izolacyjność cieplna odzieży roboczej,
  - stan zdrowia i ogólne samopoczucie,
- b) czynniki zewnętrzne
  - temperatura zewnętrzna,
  - wilgotność względna powietrza,
  - prędkość powietrza w strefie przebywania pracownika,
  - temperatura powierzchni przegród zewnętrznych,
  - poziom natężenia dźwięku (hałas) w pomieszczeniu,
  - czystość powietrza,
  - zawartość dwutlenku węgla w powietrzu (świeżość powietrza),
  - bilans jonowy powietrza,
  - oświetlenie i wystrój wnętrz.

Na rysunku 2 przedstawiono wpływ temperatury na stan fizyczny i psychiczny człowieka.



**Rys. 2. Wpływ temperatury na stan fizyczny i psychiczny człowieka [8]**

W warunkach równowagi cieplnej organizmu jego temperatura wewnętrzna utrzymuje się na stałym poziomie  $37 \pm 0,3$  °C, średnia

ważona temperatura powierzchni skóry wynosi  $32 \div 34$  °C, a przepływ skóry krwi pozostaje na umiarkowanym poziomie [9].

W przypadku lekko ubranego, pozostającego w spoczynku człowieka, temperatura odczuwana jako komfortowa wynosi  $23 \div 26$  °C, przy wilgotności powietrza 50%, i jednakowej temperaturze ścian oraz powietrza [10].

## 2. WPŁYW DWUTLENKU WĘGLA NA PRACOWNIKA

W miejscach pracy, do których zalicza się także lakiernię autobusową może wzrastać stężenie dwutlenku węgla. Wzrost ilości tego trującego gazu w pomieszczeniu odbija się negatywnie na samopoczuciu zatrudnionych pracowników. Należy zatem zadbać, aby skład chemiczny powietrza w lakierni nieznacznie różnił się od naturalnego (świeżego).

Dla przypomnienia, dwutlenek węgla jest gazem bezbarwnym, bezwonny, niepalnym; jest cięższy od powietrza, działa dusząco na człowieka, ale w niskim stężeniu nie jest toksyczny na organizm ludzki.

W tabeli 2 przedstawiono wpływ wykonywanej pracy na ilość wydzielanego przez pracownika dwutlenku węgla.

**Tab. 2. Ilość dwutlenku węgla wydzielana przez człowieka [5]**

Rodzaj czynności	Temperatura powietrza [°C]	18	20	22	23	24	25	26
Odpoczynek	Ilość CO <sub>2</sub> [dm <sup>3</sup> /h]	10	10	11	11	12	13	13
Praca średnio ciężka	Ilość CO <sub>2</sub> [dm <sup>3</sup> /h]	39	39	40	41	42	42	42

W warunkach polskich nie ustalono jednoznacznie dopuszczalnych wartości stężeń CO<sub>2</sub> w pomieszczeniach. Przyjmuje się, że stężenie powyżej 5000 ppm (ang. *parts per milion* – liczba cząstek związku chemicznego na milion cząstek roztworu, w którym się znajduje) działa niekorzystnie na człowieka stąd jego stężenie nie powinno być wyższe niż 0,5% [11].

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [2] przyjmuje się dopuszczalne stężenia dwutlenku węgla w środowisku pracy, wynoszące:

- najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) – 9000 mg/m<sup>3</sup>, czyli ok. 4650 ppm,
- najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCH) - 27000 mg/m<sup>3</sup> (ok. 13950 ppm).

Z kolei z danych, podanych w [12], dopuszczalne stężenia dwutlenku węgla różnią się nieznacznie od podanych wyżej i wynoszą odpowiednio dla NDS i NDSCH: 5000 i 15000 ppm.

Wzrost zawartości dwutlenku węgla w pomieszczeniu powoduje u pracownika niekorzystny dla zdrowia efekt hiperwentylacji czyli nieprawidłowy i przyspieszony oddech.

Poniżej, w tabeli 3, przedstawione zostały wartości stężenia dwutlenku węgla w powiązaniu do jego wpływu na organizm ludzki.

## 3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

### 3.1. Obiekt badań

Badania temperatury wewnętrznej, wilgotności powietrza oraz stężenia dwutlenku węgla przeprowadzono w budynku, wykorzystanym jako lakiernia. Usługi, jakie są realizowane w tym obiekcie dotyczą głównie malowania autobusów oraz tzw. mikrobusów.

Budynek wykonany jest w technologii tradycyjnej murowanej; ściany zewnętrzne wykonano z bloczków betonowych. Budynek

posiada jedną ścianę zewnętrzną. Dach wykonany jest ze stalowej blachy trapezowej, na konstrukcji stalowej. Część nośną konstrukcji dachowej stanowią dźwigary stalowe. Brama wjazdowa, ocieplona dwuskrzydłowa wykonana jest z blachy. Brama charakteryzuje się dużą szczelnością co ma znaczący wpływ na wymianę powietrza wentylacyjnego.

Budynek wyposażony jest w instalację wywiewną. Zanieczyszczone powietrze wywiewane jest poprzez kratki zamontowane w posadzce. Wywiew realizowany jest za pomocą dwóch wentylatorów kanałowych o mocy 7 kW każdy.

**Tab.3. Wpływ stężenia dwutlenku węgla na organizm człowieka [11]**

Wysokość stężenia [ppm]	Objaw
1500	powietrze odczuwane jest jako nieświeże i duszne
2000	u osoby osłabionej, z chorobą układu oddechowego pojawia się kaszanie, zdarzają się przypadki zasłabnięcia lub omdlenia
10000	pojawia się przyspieszony oddech
15000	wdychanie powietrza przez dłuższy okres czasu powoduje tzw. stres metaboliczny (przyspieszony oddech wraz z zaburzeniami równowagi kwasowo-zasadowej krwi)
20000	nasila się częstotliwość oddechu, zbyt długie przebywanie w środowisku powoduje m. in. bóle głowy
25000	u nurków występuje stan zamroczenia
30000-40000	pojawiają się trudności w oddychaniu, występuje osłabienie słuchu, ból głowy, wzrost ciśnienia tętniczego krwi oraz przyspieszona akcja serca
50000	pojawiają się objawy: braku swobody w oddychaniu, dzwonienie w uszach, zaburzenia widzenia, woń dwutlenku węgla przybiera ostry zapach
70000-100000	w przeciągu paru minut człowiek traci przytomność
100000	szybka utrata przytomności, stężenie uznawane jest jako śmiertelne dla człowieka

Grawitacyjnie nawiewane powietrze świeże trafia do budynku poprzez kanały prostokątne i nawiewniki szczelinowe. W celu jego ogrzania wykorzystuje się wodną nagrzewnicę kanałową. Na nawiewie, w celu ogrzania powietrza wentylacyjnego zamontowana jest wodna nagrzewnica kanałowa.

Lakiernia znajduje się w ok. 50 tyś. mieście w Polsce południowej.

### 3.2. Opis aparatury pomiarowej i warunków pomiaru

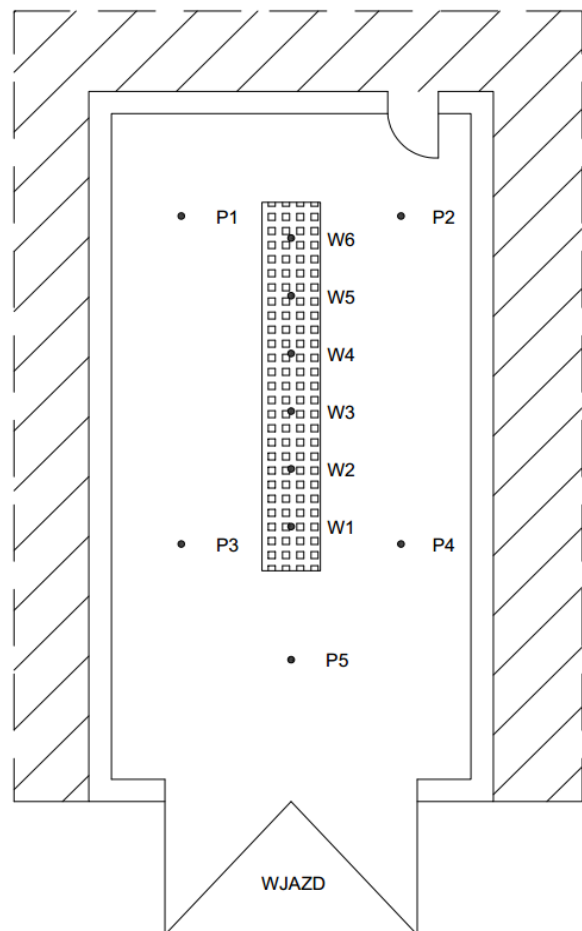
Pomiary wykonano za pomocą wielofunkcyjnego urządzenia pomiarowego Testo 435-4 (rysunek 3) wyposażonego w wiatraczkową sondę anemometryczną do pomiaru prędkości powietrza oraz sondę IAQ służącą do pomiaru jakości powietrza w pomieszczeniach.

Na rysunku 4 przedstawiono uproszczony rzut lakierni wraz z rozmieszczeniem punktów pomiarowych.

Pomiary prędkości przepływu powietrza (punkty W1 ÷ W6) zostały wykonane działania jednego wentylatora wywiewnego. Sonda wiatraczkowa była umieszczana w odległości około 20 cm nad powierzchnią kratki wywiewnej. Pomiary pozostałych parametrów tj. temperatury powietrza, wilgotności względnej i stężenia dwutlenku węgla, oznaczonych na rysunku 4 jako P1 ÷ P5, wykonywano na wysokości około 1,8 metra od poziomu posadzki.



**Rys. 3. Miernik wielofunkcyjny użyty do pomiarów [14]**



**Rys. 4. Uproszczony rzut lakierni wraz z rozmieszczeniem punktów pomiarowych**

Dzień, w którym przeprowadzono pomiary był bezchmurny, prawie bezwietrzny (prędkość wiatru wynosiła ok. 4 km/h), temperatura powietrza zewnętrznego wynosiła 5°C. Powietrze zewnętrzne charakteryzowała znaczna wilgotność względna, wynosząca 81%

[13], a stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu atmosferycznym wynosiło ok. 500 ppm. Pomiary wykonano w czasie 40 min. intensywnej pracy lakierni w godzinach wieczornych.

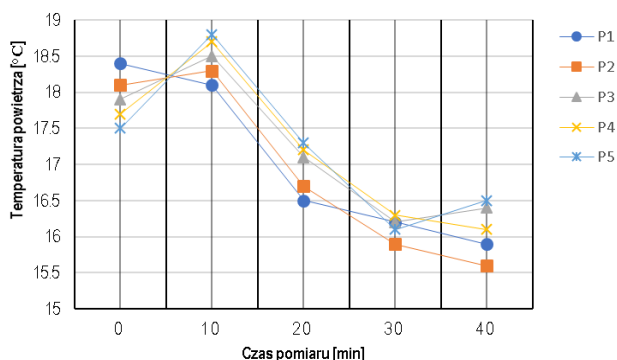
Badania zostały przeprowadzone podczas malowania mikrobusy firmy Mercedes, model Sprinter. Na rysunku 5 przedstawiono poglądowe zdjęcie malowanego pojazdu.



Rys. 5. Zdjęcie poglądowe pojazdu [15]

### 3.3. Wyniki przeprowadzonych badań

Na poniższych rysunkach pokazano wyniki pomiarów przeprowadzonych podczas prac lakierniczych. Na rysunku 6 przedstawiono wartości temperatury wewnętrznej, zarejestrowane w punktach pomiarowych P1 ÷ P6.

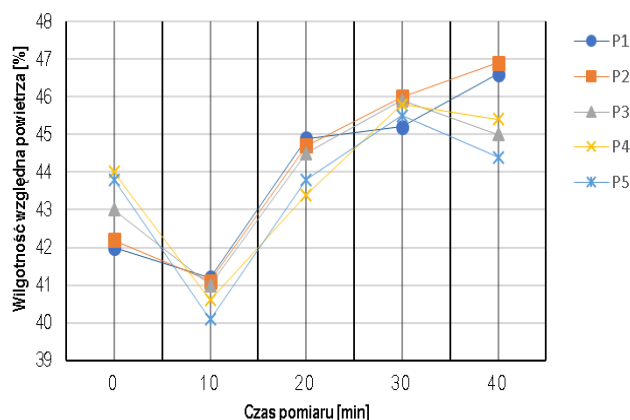


Rys. 6. Rozkład temperatury powietrza w punktach pomiarowych

Analizując powyższe rozkłady można stwierdzić, że temperatura powietrza podczas pracy lakierni malała wraz z czasem, zaczynając od około 18°C na początku pomiaru do blisko 15,5°C na jego końcu. Spowodowane to było nadmierną infiltracją powietrza przez nieszczelną stolarkę drzwiową.

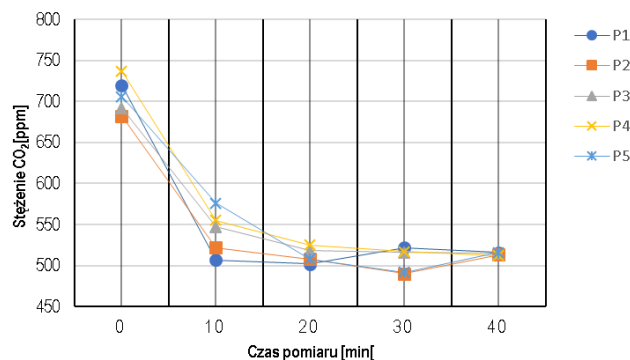
Na rysunku 7 przedstawiono rozkład wilgotności względnej, zarejestrowany podczas pracy lakierni. W oparciu o wyniki z rys.7 stwierdza się, iż wilgotność powietrza podczas pracy lakierni była różna, oscylowała w zakresie od 40 % do 47 %; wzrost wilgotności względnej odnotowano w trakcie pracy lakierni. Należy zaznaczyć, że nie zmieniła się wilgotność względna powietrza atmosferycznego.

Na kolejnym rysunku (rys.8) pokazano rozkład stężenia dwutlenku węgla w wybranych punktach pomiarowych.



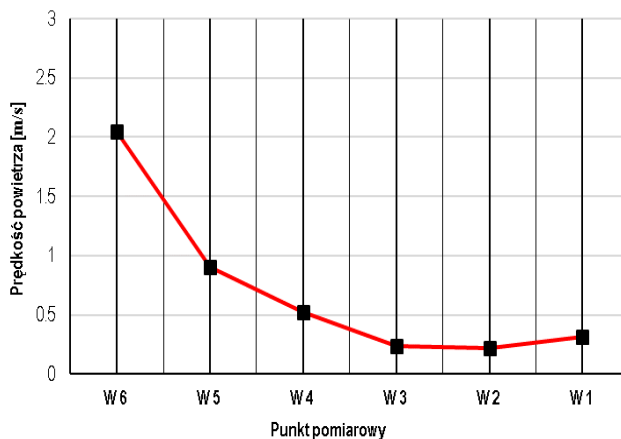
Rys. 7. Rozkład wilgotności względnej powietrza w punktach pomiarowych

Analizując wartości stężenia dwutlenku węgla w lakierni stwierdza się spadek stężenia CO<sub>2</sub> w trakcie jej pracy. Stężenie na początku pomiarów wynosiło około 720 ppm., a po uruchomieniu wentylatora wyciągowego oraz na skutek nadmiernej infiltracji powietrza zewnętrznego nastąpił gwałtowny spadek zawartości dwutlenku węgla do poziomu około 500 ppm. Świadczy to o skutecznej wentylacji ponieważ na podobnym poziomie znajdowało się stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu atmosferycznym.



Rys. 8. Rozkład stężenia dwutlenku węgla w powietrzu w punktach pomiarowych

Rozkład prędkości powietrza wywiewanego przedstawiono na kolejnym rysunku (rys. 9); wynosiła odpowiednio dla punktu W1 – 0,31 m/s; W2 – 0,22 m/s; W3 – 0,24 m/s; W4 – 0,52 m/s; W5 – 0,9 m/s i W6 – 2,05 m/s.



Rys. 9. Rozkład prędkości powietrza w punktach pomiarowych

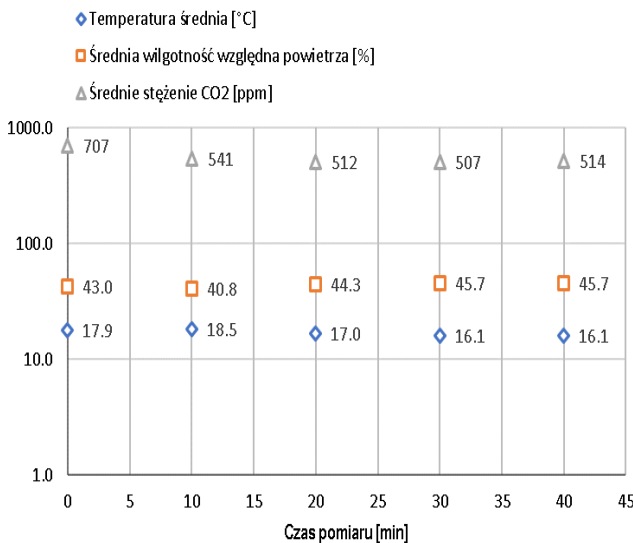
Za wyjątkiem punktu W1, prędkość wzrastała od punktu W2-W6. Jest to spowodowane tym, że punkt W6 był zlokalizowany najbliżej wlotu powietrza do wentylatora wyciągowego.

Kanał wywiewny nie jest zaopatrzone w przepustnice regulacyjne, pozwalające na zmiany strumieni powietrza w kratkach wywiewnych.

## PODSUMOWANIE

W celu poznania, jak kształtuje się rozkład parametrów powietrza podczas pracy lakierni autobusowej autorzy pracy przeprowadzili ich pomiary podczas pracy tego warsztatu.

Na rysunku 10 przedstawiono zbiorcze zestawienie średnich wartości mierzonych parametrów.



**Rys.10.** Uśrednione parametry powietrza dla wszystkich punktów w trakcie trwania pomiarów

Podczas 40-to minutowych pomiarów stwierdzono

1. obniżenie temperatury we wnętrzu pomieszczenia z poziomu 18,5°C na początku badania do blisko 15,5°C na jego końcu; spadek temperatury wiązał się z nadmierną infiltracją świeżego powietrza zewnętrznego przez nieszczelną stolarkę drzwiową,
2. utrzymywanie w miarę stabilnego poziomu wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu (43 ÷ 47 %),
3. spadek stężenia dwutlenku węgla od wartości około 750 ppm na początku do 500 ppm na końcu pomiaru co świadczy o skutecznym przewietrzaniu lakierni i dopływie do jej wnętrza powietrza atmosferycznego o niższym stężeniu CO<sub>2</sub>,
4. że podczas pomiarów **nie zanotowano** przekroczenia dopuszczalnych wartości stężeń dwutlenku węgla w pomieszczeniu pracy, wymienionych w [2,12].
5. zauważalny spadek poziomu komfortu cieplnego co spowodowane było obniżeniem się temperatury wewnętrznej i niewielkich wahań poziomu wilgotności względnej powietrza.
6. konieczność zastosowania przepustnic regulacyjnych na kratkach wywiewnych w celu równomiernego usuwania powietrza z pomieszczenia lakierni.

## BIBLIOGRAFIA

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać

budynki i ich usytuowanie. (Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami).

2. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2014 poz. 817).
3. PN-83-B-03430: Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.
4. Pelech A., *Wentylacja i klimatyzacja – podstawy*, OW Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
5. Guźda A., Szmolke N., *Przykład rozkładu parametrów powietrza w autobusie komunikacji miejskiej „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe”* 2016, nr 6.
6. <http://systemy.instalacyjne.pl/>, dostęp w dniu 11.03.2017r.
7. PN-85/N-08013 - Ergonomia. Środowiska termiczne uniemożliwiane. Określenie wskaźników PMV, PPD i wymagań dotyczących komfortu termicznego.
8. Traczyk W.Z., Trzebski A., *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej i stosowanej*, PZWL, Warszawa 2004.
9. Kozłowski S., Nazar K., *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*. PZWL, Warszawa 1995.
10. Sudol-Szopińska I., Chojnacka A., *Określanie warunków komfortu termicznego w pomieszczeniach za pomocą wskaźników PMV i PPD*, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Bezpieczeństwo Pracy, 5/2007.
11. Kaiser K., Tlenek i dwutlenek węgla w pomieszczeniach, "Rynek Instalacyjny" 2010, nr 9.
12. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. nr 79/1998) z późniejszymi zmianami.
13. <http://freemeteo.pl/>, dostęp w dniu 11.03.2017r.
14. <https://www.anemometry.eu/>, dostęp w dniu 11.03.2017r.
15. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz\\_Sprinter/](https://pl.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_Sprinter/), dostęp w dniu 11.03.2017r.

### Air quality parameters during the operation of a bus paint shop on the basis of a selected example

*The principal part of this paper is concerned with the presentation of air quality parameters and ventilation rates, which were registered during measurements conducted in a bus paint shop. The presentation includes the distribution of temperatures, relative humidity, velocity of air circulation in a paint shop along with concentration of carbon dioxide coupled with conclusions from the conducted measurements. In addition, the presentation includes the issues associated with thermal comfort and its impact on the working conditions in a paint shop. The paper also contains information regarding the maximum admissible levels of this pollutant on the premises of a paint shop, according to the regulations in force.*

Autorzy:

mgr inż. **Arkadiusz Guźda** – Politechnika Opolska w Opolu, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska, email: [a.guzda@doktorant.po.edu.pl](mailto:a.guzda@doktorant.po.edu.pl)

dr hab. inż. **Norbert Szmolke**, prof. PO – Politechnika Opolska w Opolu, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska, email: [n.szmolke@po.opole.pl](mailto:n.szmolke@po.opole.pl)