

PRZYKŁAD ROZKŁADU PARAMETRÓW POWIETRZA W AUTOBUSIE KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

W artykule przedstawiono rozkład parametrów powietrza takich jak: temperatura, wilgotność względna i stężenie dwutlenku węgla podczas przejazdu autobusu na wybranej trasie. Ponadto w artykule zawarto informacje, w jaki sposób wpływa wzrost ilości dwutlenku węgla na osoby przebywające w przestrzeni zamkniętej. Omówiono normy i wytyczne zalecenia odnośnie dopuszczalnego stężenia CO₂ w pomieszczeniu. W części badawczej autorzy wykonali pomiary temperatury, wilgotności i stężenia dwutlenku węgla w autobusie podczas jego przejazdu ze zmieniającą się liczbą osób z których wyciągnięto wnioski.

WSTĘP

W miejscach słabo wentylowanych, do których można zaliczyć np. autobus komunikacji miejskiej może wzrastać zawartość dwutlenku węgla. Wzrost jego stężenia w powietrzu może mieć negatywny wpływ na pasażerów przebywających w jego wnętrzu. Dlatego też należy zadbać, aby skład chemiczny powietrza zbliżony był do naturalnego (tabela 1).

Tab. 1. Skład suchego powietrza czystego

Gaz	% masy	% objętości
Azot	75,51	78,10
Tlen	23,01	20,93
Dwutlenek węgla	0,04	0,03
Inne gazy (argon, krypton, hel, ksenon, wodór, neon)	1,44	0,94

Parametry ciepło-wilgotnościowe gwarantujące odczucie komfortu cieplnego osobom przebywającym w pomieszczeniu, w tym autobusu, wynoszą [1]:

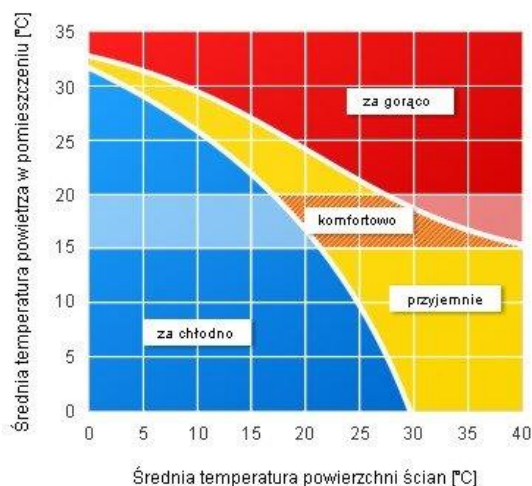
- temperatura powietrza w granicach 20-30°C,
- prędkość ruch powietrza w strefie przebywania ludzi w przedziale 0,15-0,2 m/s,
- wilgotność względna powietrza przy zalecanej temperaturze w przedziale 40-60% do 80%,
- średnia temperatura promieniowania cieplnego pomieszczenia utożsamiona z temperaturą zewnętrznych przegród budowlanych powinna być o 2-3 °C mniejsza niż temperatura otoczenia.

W literaturze jest niewiele informacji, dotyczących komfortu cieplnego w autobusie, jednakże nie można zapomnieć, że autobus jest miejscem, w którym przebywają ludzie i w zależności od rodzaju trasy czas podróży może wynieść od kilka minut do nawet kilkudziesięciu godzin na trasach międzynarodowych. Dlatego też należy zapewnić osobom przebywającym w jego wnętrzu odpowiednie warunki, aby pasażerowie mogli czuć się komfortowo podczas przejazdu.

Stan powietrza wewnątrz autobusu zależy od wielu czynników, są to m. in.:

- stopień regulacji wentylacji,
- temperatura nawiewu powietrza,
- cykliczności otwierania/zamykania drzwi,
- wyposażenie w miejscowe nawiewy dla pasażerów.

Na rysunku 1 przedstawiono wykres komfortu cieplnego w zależności od temperatury otoczenia i temperatury powierzchni przegród, otaczających człowieka przestrzeniach zamkniętych.



Rys. 1. Wykres komfortu cieplnego [3]

Pod pojęciem komfortu cieplnego kryje się 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.

W celu określenia komfortu cieplnego przez człowieka wprowadzono wskaźnik PMV (ang. predicted mean vote), czyli przewidywanej oceny średniej, która wygląda następująco (tabela 2).

Tab. 2. Przewidywana średnia ocena komfortu cieplnego [2]

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.

1. ROLA DWUTLENKU WĘGLA

Polskie normy nie zawierają dopuszczalnych stężeń dwutlenku węgla w powietrzu wewnątrz pomieszczenia, w tym również wnętrza autobusu. W celu określenia dopuszczalnego poziomu dwutlenku węgla często wykorzystuje się [4]:

- normy i zalecenia europejskie,
- normy amerykańskie (ASHRAE),
- zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia(WHO).

W powyższych normach i zaleceniach określono, iż górny poziom stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniach stałego przebywania ludzi wynosi 1000 ppm (ang. *parts per milion – liczba cząstek związku chemicznego na milion cząstek roztworu w którym się znajduje*). Z kolei w [5] podane zostały następujące wartości dopuszczalnego stężenia dwutlenku węgla:

- najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) - ok. 5000 ppm,
- najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCH) - ok. 15000 ppm.

Należy nadmienić, iż podane wyżej najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) oraz najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCH) w praktyce nigdy nie występuje w miejscu, w którym jedynym źródłem dwutlenku węgla jest człowiek. Z kolei normy [6-7] podają dopuszczalne stężenie w którym głównym źródłem dwutlenku węgla jest człowiek.

WPLYW DWUTLENKU WĘGLA NA CZŁOWIEKA

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.

Jego stężenie powyżej 5000 ppm działa niekorzystnie na człowieka dlatego przyjmuje się, iż jego stężenie nie powinno być wyższe niż 0,5% [8].

W tabeli 3 przedstawiono ilość dwutlenku węgla wydzielaną przez człowieka zależnie od temperatury i wykonywanej pracy.

Tab. 3. Ilość dwutlenku węgla wydzielana przez człowieka [9]

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

Wzrost stężenia dwutlenku węgla powoduje u człowieka efekt hiperwentylacji. Poniżej przedstawione zostały wartości stężenia dwutlenku węgla i jego wpływu na człowieka [8]:

- 0,15 % - powietrze odczuwane jest jako nieświeże i duszne,
- 0,2 % - u osoby osłabionej, z chorobą układu oddechowego pojawia się kasłanie, zdarzają się przypadki zasłabnięcia lub omdlenia,
- 1 % - pojawia się przyspieszony oddech,
- 1,5 % - wdychanie powietrza przez dłuższy okres czasu powoduje tzw. stres metaboliczny (przyspieszony oddech wraz z zaburzeniami równowagi kwasowo-zasadowej krwi),
- 2 % - nasila się częstotliwość oddechu, zbyt długie przebywanie w środowisku powoduje m. in. bóle głowy,
- 2,5 % - u nurków występuje stan zamroczenia,
- 3-4 % - pojawiają się trudności w oddychaniu, występuje osłabienie słuchu, ból głowy, wzrost ciśnienia tętniczego krwi oraz przyspieszona akcja serca,
- 5 % - pojawiają się objawy: braku swobody w oddychaniu, dzwonienie w uszach, zaburzenia widzenia, woń dwutlenku węgla przybiera ostry zapach,

- 7-10 % - w przeciągu paru minut człowiek traci przytomność,
- 10 % - szybka utrata przytomności, stężenia uznawane jest jako śmiertelne dla człowieka.

STRUMIEŃ POWIETRZA WENTYLACYJNEGO

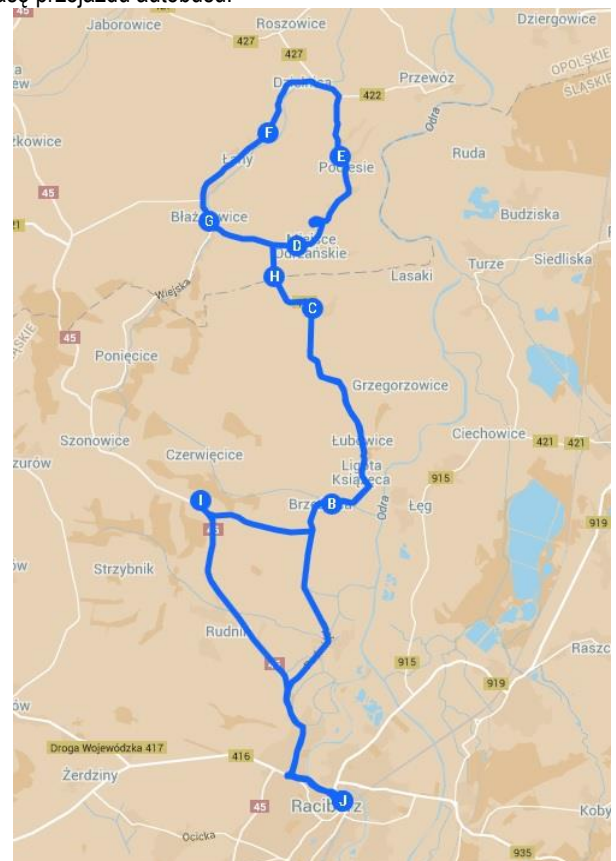
W celu utrzymania stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniu na poziomie 0,5 %, niezbędnym jest doprowadzenie do niego określonych ilości strumienia powietrza zewnętrznego. Zaleca się aby w pomieszczeniach, w którym przebywają ludzie strumień ten nie był mniejszy niż 20 m³/h w przypadku osoby dorosłej [1]. W transporcie miejskim jest to praktycznie niemożliwe ze względu na małą kubaturę autobusów i stosunkowo znaczną przypadkowość liczby transportowanych osób w danym momencie.

Niestety w literaturze brak wytycznych, dotyczących zalecanej ilości powietrza wentylacyjnego w pojazdach komunikacji samochodowej. Dlatego też autorzy wykonali badania stężenia dwutlenku węgla podczas przejazdu autobusu przy zmiennej liczbie pasażerów na wybranym przykładzie. Ich celem było sprawdzenie, czy we wnętrzu pojazdu przekroczone zostały wskaźniki stężenia dwutlenku węgla.

2. BADANIA EKSPERYMENTALNE

2.1. Opis aparatury pomiarowej, warunków pomiaru i wnętrza pojazdu

Pomiary wykonane zostały w godzinach porannych. Przedsiębiorstwo komunikacji samochodowej na linii w której wykonano pomiary, zlokalizowane jest w mieście, którego liczba mieszkańców wynosi około 50 000 osób. Dzień w którym wykonane zostały pomiary był pochmurny, wiatr 22 km/h północno-wschodni, temperatura powietrza zewnętrznego wynosiła 0°C, a wilgotność względna 86% [10]. Długość trasy, na której wykonane zostały pomiary, wynosiła 44 km, czas pomiarów wyniósł 80 minut. Na rys. 2 pokazano trasę przejazdu autobusu.



Rys. 2. Trasa przejazdu autobusu

Początek przejazdu i zarazem jego koniec oznaczono jako punkt J, a badania przeprowadzono na trasie w postaci pętli. Autobus na swojej trasie przejazdu zatrzymywał się 20 razy. Specyfika tej trasy polegała na tym, iż podczas przejazdu sukcesywnie zwiększała się liczba pasażerów; wszystkie osoby wysiadły dopiero na końcowym przystanku oznaczonym jako punkt J. W głównej mierze była to młodzież w wieku szkolnym.

Liczba pasażerów na początku wyniosła 2 osoby, sukcesywnie zwiększając się do 66 osób. Dokonano pomiarów: stężenia dwutlenku węgla (w ppm), wilgotności względnej i temperatury powietrza w autobusie.

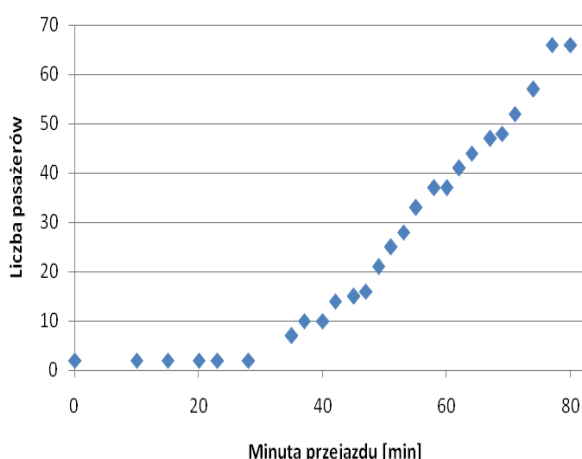
Badania zostały przeprowadzone w autobusie firmy MAN, model A01. Pojazd ten wyposażony jest w 77 miejsc dla pasażerów, w tym 52 siedzące i 25 stojących. Na rys. 3 przedstawiono poglądowe zdjęcie autobusu MAN.



Rys. 3. Zdjęcie poglądowe autobusu [11]

Wszystkie pomiary wykonane zostały wielofunkcyjnym przyrządem pomiarowym do klimatyzacji, wentylacji i jakości powietrza w pomieszczeniach Testo 435-4.

Rozkład zapełniania autobusu pasażerami został przedstawiony na rys.4.

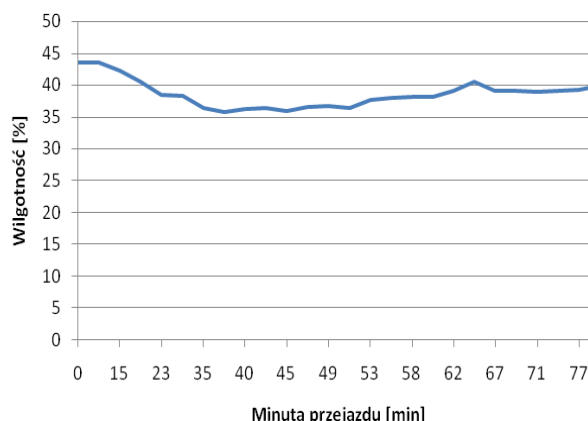


Rys. 4. Rozkład zapełnienia autobusu

Analizując powyższy wykres, można stwierdzić że przez pierwsze 30 minut w autobusie znajdowały się 2 osoby (byli to kierowca pojazdu oraz współautor artykułu, wykonujący eksperymenty); dopiero później nastąpił wzrost liczby osób wsiadających do pojazdu.

2.2. Wyniki przeprowadzonych badań

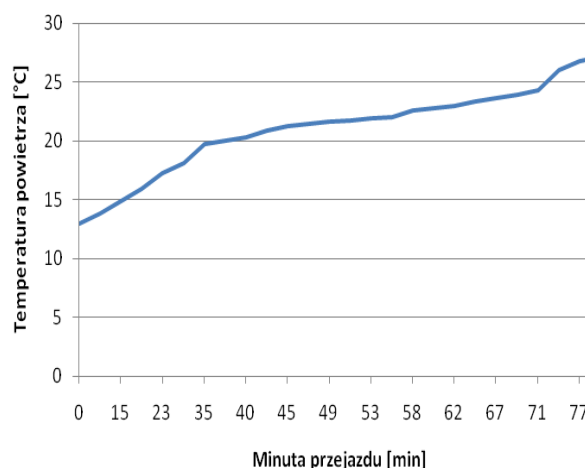
Na poniższych rysunkach pokazano wyniki badań przeprowadzonych podczas przejazdu autobusu.



Rys. 5. Rozkład wilgotności powietrza w autobusie

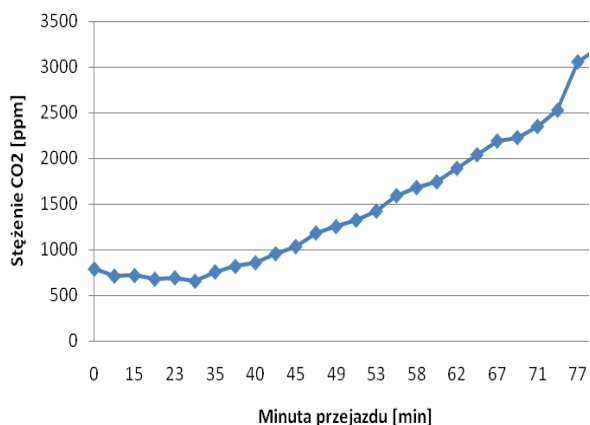
W oparciu o wyniki, pokazane na rys. 5 można stwierdzić, iż wilgotność powietrza w autobusie była różna, oscylowała w zakresie od 36 % do 44 %, z czego najwyższa była w momencie wyruszenia autobusu na trasę.

Z kolei na rys. 6 przedstawiono rozkład temperatury powietrza w autobusie.



Rys. 6. Rozkład temperatury powietrza w autobusie

Analizując wyniki przedstawione na powyższym wykresie, można wywnioskować iż temperatura powietrza w badanym autobusie wzrastała wraz z czasem przejazdu, zaczynając od około 13°C na początku do blisko 28°C na jego końcu, co jest bezpośrednio związane z przyrostem liczby pasażerów. Kolejny wykres (rys.7) przedstawia stężenie dwutlenku węgla podczas przejazdu.



Rys. 7. Rozkład dwutlenku węgla w autobusie

Analizując wartości stężenia dwutlenku węgla w autobusie można zauważyć, że stężenie do około 30 minuty przejazdu było prawie stabilne i wynosiło około 800 ppm. Po tym czasie nastąpił jego wzrost do wartości przekraczającej 3000 ppm na końcu badania. To oznacza ponad trzykrotnie wartości dopuszczalnych dla ludzi przebywających w pomieszczeniach. Tak gwałtowny wzrost był związany z zwiększającą się liczbą osób w pojeździe. Na rys.8 przedstawiono zależność stężenia dwutlenku węgla od liczby osób w autobusie. Grubszą linią zaznaczono wartość graniczną 1000 ppm, natomiast strzałką oznaczono przy jakiej liczbie pasażerów wartość stężenia dwutlenku węgla wyniosła 1000 ppm. Już przy 14 osobach, wartość 1000 ppm, została przekroczona co miało miejsce podczas 40 minuty przejazdu. Później zanotowano jedynie znaczny wzrost stężenia CO₂. Można wywnioskować, iż wraz ze wzrostem liczby pasażerów w autobusie stężenie dwutlenku węgla wzrastało od poziomu około 800 ppm przy 2 osobach, do poziomu blisko 3200 ppm przy 66 osobach.

PODSUMOWANIE

W celu poznania jak kształtuje się rozkład parametrów powietrza w autobusie (w szczególności dwutlenku węgla) autorzy pracy przeprowadzili badania parametrów powietrza podczas przejazdu autobusem na wybranej trasie ze zmieniającą się liczbą pasażerów.

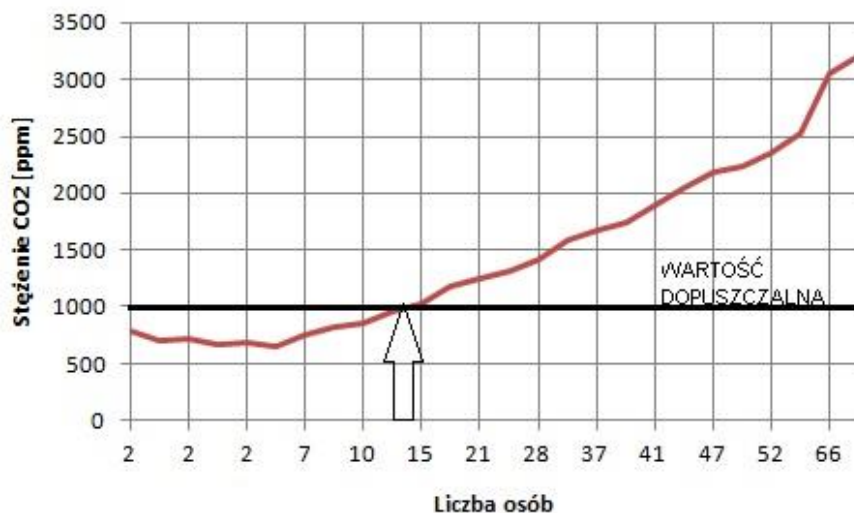
Z przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Czas trwania badania wyniósł niespełna 1 godzinę i 20 minut.

2. Liczba pasażerów pod koniec badania wyniosła 66 osób, jednakże przez pierwsze 30 minut czasu trwania badania wynosiła 2 osoby.
3. Wilgotność względna powietrza wewnątrz autobusu utrzymywała się na poziomie w zakresie od 36 % do 44 %.
4. Temperatura powietrza w pojeździe wraz z czasem, również wzrastała, od około 13°C na początku przejazdu, do blisko 28°C na jego końcu.
5. Stężenie dwutlenku węgla wzrosło gwałtownie wraz ze wzrostem liczby osób, osiągając wartość blisko 3200 ppm, przewyższając zalecaną wartość 1000 ppm, ponad **3-krotnie**.
6. W dalszym etapie prac nad tym zagadnieniem należy położyć nacisk na zapewnienie pasażerom komfortu cieplnego niezależnego od stopnia „wypełnienia” autobusu.

BIBLIOGRAFIA

1. PN-83/B-03430 (wraz ze zmianą A3:2000) – Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania.
2. PN-85/N-08013 - Ergonomia. Środowiska termiczne umiarkowane. Określenie wskaźników PMV, PPD i wymagań dotyczących komfortu termicznego.
3. <http://www.ogrzewaniescienne.com.pl/>, dostęp w dniu 20.02.2016r.
4. Skwarczyński M., Dumala S., Wpływ liczby użytkowników na rozkład stężenia dwutlenku węgla w sali audytorijnej, "Instal" 2012, nr 12.
5. 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
6. CEN CR 1752, Ventilation for Buildings, Design Criteria for the Indoor Environment, European Committee for Standardization, 1998.
7. ASHRAE Standard 62-2001, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
8. Kaiser K., Tlenek i dwutlenek węgla w pomieszczeniach, "Rynek Instalacyjny" 2010, nr 9.
9. Śliwowski L., Lis A., Wybrane problemy mikroklimatu wewnątrz, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” 2002, nr 3.
10. <http://freemeteo.pl/>, dostęp w dniu 19.03.2016r.
11. <http://bustradecenter.pl/autobusy/man-a01,23.html>, dostęp w dniu 13.03.2016r.



Rys. 8. Stężenie dwutlenku węgla od liczby osób w autobusie

Example of air parameters distribution in an urban bus transport

The article discussed the problem of the distribution of air parameters such as temperature, relative humidity and carbon dioxide levels during the journey of the bus on the chosen route. Additionally, in the article the information about the influence of carbon dioxide on the people staying in the room was contained. The standards and guidelines recommendations for the allowable concentration of CO₂ in the room was discussed. In the research the authors performed the measurements of temperature, humidity and carbon dioxide concentration in the bus during the journey with a changing number of people. The research has shown when the

number of people increased, the level of CO₂ increase, reaching a value of more than three times higher than the recommendation of an acceptable level of concentration in the room.

Autorzy:

mgr inż. **Arkadiusz Guźda** – Politechnika Opolska w Opolu, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska, email: 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