

Dr inż. Bernard Południk



# Laboratorium: INŻYNIERII ŚRODOWISKA WEWNĘTRZNEGO

**Specjalność: Ogrzewnictwo, wentylacja, klimatyzacja – 30 godzin**

Lp.	Wykaz ćwiczeń
	Zajęcia wstępne. Przepisy i zasady BHP w laboratorium Inżynierii Środowiska Wewnętrznego
1	Rozkład temperatury w pomieszczeniu
2	Wilgotność powietrza wewnętrznego
3	Parametry powietrza wewnętrznego a komfort cieplny
4	Zawartość i skład ziarnowy cząstek aerozolowych w powietrzu wewnętrznym
5	Stężenie O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> i CO w powietrzu wewnętrznym
6	Stężenie radonu w powietrzu wewnętrznym
7	Ocena zapachowej jakości powietrza wewnętrznego
8	Badania wyczuwalnej jakości powietrza wewnętrznego
9	Badania ankietowe komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego
	Zajęcia zaliczeniowe.

## Literatura:

1. Zbiorcze opracowania zagadnień dla każdego z ćwiczeń. Nie publikowane.
2. Fanger, P.O., „Komfort cieplny” Arkady, Warszawa 1974.
3. Kabza Z., Kostyro K., „Metrologia mikroklimatu pomieszczenia i środowiskowych wielkości fizycznych” Politechnika Opolska, Opole 2003.
4. Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P., „Środowisko wewnętrzne Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy” Politechnika Śląska, Gliwice 2003.
5. Śliwińska E., „Środowisko fizyczne człowieka” Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
6. Kośmider J., Mazur-Chrzanowska B., Wszyński B., „Odory” Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
7. Śliwowski L., „Mikroklimat wewnątrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach” Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.

# ĆWICZENIE NR 1

## Rozkład temperatury w pomieszczeniu

### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami pomiaru temperatury powietrza wewnętrznego i przedmiotów znajdujących się w pomieszczeniach oraz przeprowadzenie takich pomiarów wykorzystując różnego typu przyrządy. Celem ćwiczenia jest również wyznaczenie rozkładu temperatury w pomieszczeniu.

### 2. Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- zaznajomienie się z metodami i przyrządami pomiarowymi
- przeprowadzenie kalibracji używanych mierników temperatury
- przygotowanie pomieszczenia do przeprowadzenia pomiarów (np. zamknięte drzwi, okna, wyłączona wentylacja)
- sporządzenie tabelki do wpisywania danych i wyników pomiarów
- wykonanie pomiarów temperatury powietrza i przedmiotów różnymi przyrządami pomiarowymi
- omówienie wyników

### 3. Wykonanie ćwiczenia

Aparatura pomiarowa

Mierniki do pomiaru temperatury:

- zestaw ALMEMO 2390-5
- LAB-EL LB 520
- LAB-EL LB 702
- wielofunkcyjny miernik KIMO
- wielofunkcyjny miernik AMI301 PRO
- termometr rozszerzalnościowy
- termometr oporowy
- termometr termoelektryczny
- pirometr

Sposób przeprowadzenia ćwiczenia

Zgodnie z zaproponowaną przez prowadzącego metodą przeprowadzić kalibrację wszystkich mierników temperatury używanych w ćwiczeniu.

Dla danych warunków wentylacyjnych i przy danej liczbie osób obecnych w pomieszczeniu:

1. - przeprowadzić pomiary temperatury powietrza wewnętrznego i przedmiotów bezpośrednio przed i po wejściu studentów do pomieszczenia
2. - wyniki rejestrować w odstępach czasu podanych przez prowadzącego
3. - wyniki pomiarów wpisać do tabeli
4. - kontynuować pomiary temperatury w trakcie pobytu studentów w pomieszczeniu
5. - powtórzyć pomiary przy zmienionych warunkach wentylacyjnych i zmienionej liczbie osób w pomieszczeniu
6. - przeprowadzić pomiary temperatury powietrza na zewnątrz badanego pomieszczenia i na zewnątrz budynku
7. - zmierzyć temperaturę wydychanego powietrza

Przykładowa tabela wyników

Czynniki wpływające na zmianę parametrów powietrza wewnętrznego	Wyniki pomiaru temperatury powietrza				
	Przyrząd pomiarowy	Pomieszczenie			
		A	B	C	D
I.	1				
	2				
	3				
	4				
II.	1				
	2				
	3				
	4				
III.	1				
	2				
	3				
	4				
IV.	1				
	2				
	3				
	4				

#### 4. Sprawozdanie z ćwiczenia

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

- a. cel i zakres ćwiczenia
- b. krótki opis przebiegu ćwiczenia
- c. tabelkę wyników pomiarów i obliczeń
- d. sposób opracowania wyników pomiarów
- e. przykład obliczeń
- f. wykresy zmian temperatury powietrza wewnętrznego w zależności od liczby osób, czasu ich przebywania w pomieszczeniu i kubatury pomieszczenia
- g. ocenę dokładności pomiaru temperatury w pomieszczeniu
- h. wnioski

## Zagadnienia

1. Ciepło, temperatura, sposoby przekazywania ciepła.
2. Klasyfikacja przyrządów do pomiaru temperatury.
3. Zasada pomiaru temperatury termometrami rozszerzalnościowymi.
4. Zasada pomiaru temperatury czujnikami oporowymi
5. Zasada pomiaru temperatury czujnikami termoelektrycznymi (termoparami).
6. Zasada pomiaru temperatury termometrami specjalnymi.
7. Sposoby wzorcowania termometrów.

## Przykłady pytań kontrolnych

1. Zdefiniuj współczynnik cieplnej rozszerzalności objętościowej ciał stałych i gazów.
2. Przedstaw właściwości i prawa promieniowania cieplnego.
3. Opisz zasadę działania termometru na podczerwień.
4. Jakie są względne wartości strumieni energii promieniowania emitowanego przez:
  - a) powierzchnię stali wypolerowanej i betonu o identycznej temperaturze?
  - b) duże powierzchnie betonu o różnych temperaturach?
5. Opisz zasadę działania termometrów oporowych.
6. Opisz zasadę działania czujników termoelektrycznych.
7. Opisz zasadę obliczania parametrów krzywej wzorcowania pirometru, precyzję (powtarzalność) pomiaru, błędów pomiaru temperatury związane z niepewnością wartości emisyjnej.

## Materiały pomocnicze

### URZĄDZENIA POMIAROWE ALMEMO

Uniwersalne urządzenie pomiarowe z 3 wejściami pomiarowymi  
ALMEMO 2380-S

Rejestrator ALMEMO 2380-ES



#### Podstawowe funkcje

- ▶ Uniwersalne urządzenie pomiarowe z 2 elektrycznie izolowanymi wejściami pomiarowymi
- ▶ 1 czujnik do każdego wejścia pomiarowego, dodatkowo 3 lub 4 funkcje dla kanału
- ▶ Ponad 65 standardowych zakresów pomiarowych
- ▶ Wyświetlacz LCD 8 1/2 cyfry
- ▶ Funkcje pomiarowe:
  - Wartość mierzona, Hold, różnica, zerowanie, ustawienie dwupunktowe, wygaszenie z regulowaną słabą czasową, konfiguracja podwójnego wyświetlania dla temperatury i wilgotności, zapamiętywanie max i min, ręczne lub cykliczne uśrednianie z trybem uśredniania i liczbą wartości uśrednianych, pomiar przepływu objętościowego z uśrednianiem, pomiar przepływu lub średnicy, manualna lub automatyczna kompensacja temperatury i ciśnienia atmosferycznego
- ▶ Programowanie czujników
  - Zakres pomiarowy, korekta wartości mierzonych, skalowanie, wymiarowanie, monitorowanie wartości granicznych, stopniowe zamykanie funkcji, skalowanie wyjścia analogowego
- ▶ Programowanie urządzenia
  - Zegar czasu rzeczywistego z czasem i datą, start i koniec pomiaru, prędkość konwersji i cyklu druku do wyjścia lub pamięci, prędkość transmisji, formatowanie wyjścia do drukarki lub arkusza kalkulekcyjnych, aktywacja funkcji w grupie w trybie wyświetlania, wybór języka dla skrótów dla funkcji i wydruków rekordów

Standardowa dostawa zawiera  
Urządzenie pomiarowe ALMEMO 2380-S,  
instrukcja obsługi, oprogramowanie AMR-Control

Kod zamówienia: MA2380S

Rejestrator: MA2380ES

#### Dane techniczne

Wejścia pomiarowe	3 gniazda ALMEMO do płytok zęczy ALMEMO
Kanały pomiarowe	4 kanały na czujnik dodatkowo 4 kanały funkcyjne
Prąd wejścia	< 20 mA
Przetwornik A/D	delta-sigma 16 bit
Zasilanie czujników akumulator	7...15V, max. 100 mA
zasilanie sieciowe	zasilacz 12V, max. 100 mA
Wyjścia	2 gniazda ALMEMO
Wyposażenie	
Wyświetlacz	1 1/2 cyfry – numer kanału 5 cyf, 7 segm. – wartość mierzona 2 cyfry 16 segmentów – jednostka
Klawiatura	5 klawiszy
Pamięć (tylko 2380-ES)	32 KB EEPROM (3700 do 8000 wartości)
Czas i data	zegar czasu rzeczywistego podtrzymywany z akumulatora wewn.
Zasilanie	7...15 VDC, nie izolowane galwanicznie
Zasilacz sieciowy	ZB 2290NA 230 VAC 12 VDC, 200 mA galw. izolowany
Kabel do zasilacza	ZB 2290UK 10...30VDC 12 VDC, 250 mA
Zużycie prądu	bez modułów wejściowych i wyjściowych: ok. 10 mA
Obudowa	180 x 85 x 33 mm ABS odporny na wstrząsy (70°C max)

#### Akcesoria:

Kabel do transmisji danych V24, galw. izol.

Złącze pamięci ALMEMO

120kB (25000 wartości)

Złącze pamięci ALMEMO

256kB (50000 wartości)

Złącze pamięci ALMEMO

115200 baud max. z dodatkowym gniazdem zasilania sieciowego

Zasilacz sieciowy 12VDC, 200 mA

ZB2290NA

## MIERNIK WIELOFUNKCYJNY AMI 301 i AMI 301 PRO



- Ergonomiczny kształt, elementy ochronne z elastomeru
- Łatwy w użyciu, intuicyjna obsługa dzięki klawiszowi nawigacyjnemu
- Wyświetla jednocześnie do 5 parametrów
- Wskaźnik zużycia baterii
- Możliwość stosowania różnych sond
- Automatycznie rozpoznaje podłączoną sondę
- Wyświetla datę ostatniej kalibracji
- Termometr 4 kanałowy
- Możliwość zapisu punktów pomiarowych
- Port do podłączenia do drukarki i komputera
- Wybór języków



## WŁAŚCIWOŚCI METROLOGICZNE

AMI 301 jest wielofunkcyjnym miernikiem kompatybilnym z sondami systemu Smart Pro wszystkich typów oraz z sondami temperatury termoelektrycznymi K. Sondy te są dostarczane wraz ze świadectwem kalibracji lub świadectwem dostosowania locznie dane kalibracji wyświetla się po podłączeniu sondy do miernika. Sondy są automatycznie rozpoznawane po podłączeniu do miernika. Sondy systemu Smart Pro można stosować zamiennie do innych urządzeń (posiadających możliwość odczytu danej wielkości).

		Jednostka	Zakres pomiarowy	Maksymalny błąd pomiaru <sup>a</sup>	Dokładność
MIKROMANOMETR	Ciężnienie	mmHg, Pa, Wg	0 do ± 1000 Pa	±0,5% odczytu i nie więcej niż ± 1 Pa	1 Pa
	Prędkość mierzona rurką Pitota	m/s, fpm	2 do 40 m/s	±3% odczytu i nie więcej niż ±0,1 m/s	0,1 m/s
	Prędkość mierzona Dablimo	m/s, fpm	2 do 40 m/s	±3% odczytu i nie więcej niż ±0,1 m/s	0,1 m/s 0,1 m/s
	Przepływ mierzony rurką Pitota	m <sup>3</sup> /h, cfm, l/s, m <sup>3</sup> /s	0 do 85000 m <sup>3</sup> /h	±3% odczytu i nie więcej niż ±10 m <sup>3</sup> /h	1 m <sup>3</sup> /h
	Przepływ mierzony Dablimo	m <sup>3</sup> /h, cfm, l/s, m <sup>3</sup> /s	0 do 85000 m <sup>3</sup> /h	±3% odczytu i nie więcej niż ±10 m <sup>3</sup> /h	1 m <sup>3</sup> /h
TEMP. I PRĘD. - SONDA SKRZYDEŁKOWA	Prędkość - sonda skrzydełkowa Ø100 mm	m/s, fpm	0,20 do 3 m/s 3,1 do 35 m/s	±2% odczytu i nie więcej niż ±0,08 m/s ±2% odczytu i nie więcej niż ±0,2 m/s	0,01 m/s 0,1 m/s
	Prędkość - sonda skrzydełkowa Ø70 mm	m/s, fpm	0,3 do 35 m/s	±2% odczytu i nie więcej niż ±0,1 m/s	0,1 m/s
	Prędkość - sonda skrzydełkowa Ø18 mm	m/s, fpm	0,8 do 40 m/s	±2% odczytu i nie więcej niż ±0,1 m/s	0,1 m/s
	Temperatura otoczenia z wyjątkiem sondy Ø18 mm	°C, °F, K	- 20 do +80°C	±2% odczytu i nie więcej niż ±0,1°C	0,1°C
	Przepływ	m <sup>3</sup> /h, cfm, l/s, m <sup>3</sup> /s	0 do 85000 m <sup>3</sup> /h	±3% odczytu i nie więcej niż ±10 m <sup>3</sup> /h	1 m <sup>3</sup> /h
TEMP. I PRĘD. - SONDA ŚLUPKO-OPOROWA	Prędkość - sonda ślupko-oporowa	m/s, fpm	0 do 3 m/s 3,1 do 30 m/s	±3% odczytu i nie więcej niż ±0,03m/s ±3% odczytu i nie więcej niż ±0,1m/s	0,01 m/s 0,1 m/s
	Prędkość sonda ślupko-oporowa teleskopowa	m/s, fpm	0 do 3 m/s 3,1 do 30 m/s	±3% odczytu i nie więcej niż ±0,03m/s ±3% odczytu i nie więcej niż ±0,1m/s	0,01 m/s 0,1 m/s
	Temperatura otoczenia	°C, °F, K	- 20 do 80°C	±2% odczytu i nie więcej niż ±0,1°C	0,1°C
	Przepływ	m <sup>3</sup> /h, cfm, l/s, m <sup>3</sup> /s	0 do 85000 m <sup>3</sup> /h	±3% odczytu i nie więcej niż ±10 m <sup>3</sup> /h	1 m <sup>3</sup> /h
TEMPERATURA I WILGOTNOŚĆ	Wilgotność	%RH, g/kg	3 do 98%RH	±1% odczytu i nie więcej niż ±1,5%RH	0,1%RH
	Temperatura punktu rosy	°C, °F, K	-20 do +80°C	±2% odczytu i nie więcej niż ±0,1°C	0,1°C
	Temperatura otoczenia	°C, °F, K	-20 do +80°C	±2% odczytu i nie więcej niż ±0,1°C	0,1°C
TEMPERATURA	Temperatura PT100 (2 kanały)	°C, °F, K	-100 do +400°C	±2% odczytu i nie więcej niż ±0,1°C	0,1°C
	Temperatura termometr termoelektryczny K**	°C, °F, K	-200 do -40°C -30 do +980°C +1000 do +1300°C	±1% odczytu i nie więcej niż ±1,2°C ±0,5% odczytu i nie więcej niż ±0,8°C ±1% odczytu i nie więcej niż ±1,2°C	0,1°C 0,1°C 1°C
TACHOMETR	Opcyjny	rpm, m/min, ft/min, in/min	80 do 50000 rpm	±0,5% odczytu i nie więcej niż ±1rpm	1 rpm
	Konieczny	rpm, m/min, ft/min, in/min	4 do 2500 rpm 30 do 20000 rpm	±2% odczytu i nie więcej niż ±1rpm	0,1 rpm 1 rpm

<sup>a</sup> Wyniki uzyskane w badaniach laboratoryjnych

\*\* Sonda termoelektryczna K nie jest wykonana w systemie Smart Pro.

## **SONDA WILGOTNOŚCIOWA:**

Zakres pomiarowy: 3 do 99%

Samoczynna zmiana zakresu: mniej niż 1%RH w ciągu roku

Czas reakcji: 10 sekund

### **FUNKCJE**

#### **Mikro – manometr:**

- Pomiar nadciśnienia, podciśnienia lub różnicy ciśnień
- Automatem wyzerowanie
- Celkowania
- Uśrednianie punkt po punkcie
- Automatem uśrednianie punkt po punkcie
- Automatem uśrednianie
- Prędkość powietrza i przepływ mierzony rurką Pitota: uśrednianie punkt po punkcie, automatem uśrednianie punkt po punkcie, wprowadzenie poprawki temperaturowej ręcznie lub automatem
- Prędkość powietrza i przepływ mierzane elementami pomiarowymi z grupy DEBIMO: automatem uśrednianie, wprowadzenia poprawki temperaturowej ręcznie lub automatem
- Przepływ powietrza z wykorzystaniem współczynnika K
- Temperatura: termoelektryczne K (kanal C2 jako opcja)

#### **Termo-anemometr ciepłno-oporowy:**

- Prędkość powietrza
- Automatem uśrednianie
- Uśrednianie punkt po punkcie
- Automatem uśrednianie punkt po punkcie
- Temperatura mierzona czujnikiem Pt100 (zintegrowanym z sondą)
- Temperatura Pt100 (opcjonalny kanal C2)
- Przepływ mierzony w przewodzie oraz sondą stożkową

#### **Termo-anemometr skrzydełkowy:**

- Prędkość powietrza
- Automatem uśrednianie
- Uśrednianie punkt po punkcie
- Automatem uśrednianie punkt po punkcie
- Temperatura mierzona czujnikiem Pt100 (zintegrowanym z sondą, prócz sondy Ø16)
- Temperatura Pt100 (opcjonalny kanal C2)
- Przepływ mierzony w przewodzie oraz sondą stożkową

#### **Termometr:**

- Pt100: 2 kanały, dynamiczne delta T
- Termoelektryczny K: 2 kanały, dynamiczne delta T

#### **Termo-higrometr:**

- Pomierzy higrometryczne : wilgotność względna, wilgotność bezwzględna, temperatura obrotowa, temperatura punktu rosy, temperatura Pt100 (dostępne są dwa kanały)
- Pomierzy psychrometryczne : temperatura termometru suchego, temperatura termometru mokrego, wilgotność bezwzględna, entalpia
- Temperatura punktu rosy powierzchni : temperatura punktu rosy powierzchni, temperatura powierzchni, wilgotność względna, temperatura obrotowa

#### **Tachometr:**

- Optyczny
- Kontaktowy

#### **Datalogger:**

- Możliwość zapamiętania kilku parametrów powietrza jednocześnie
- Funkcja automatycznego lub ręcznego wprowadzenia punktów pomiarowych
- Pamięć: do 8000 punktów pomiarowych oraz do 40 serii
- Oferowany dodatkowo program komputerowy umożliwi wydruk raportu z badań wraz z wynikami przedstawionymi w formie tabel lub wykresów

#### **Funkcje dodatkowe:**

Zatrzymanie pomiarów, wyświetlenie wartości minimalnych i maksymalnych, odchylenie standardowe, wydruk, automatem wyłączenie, wybór języków.



## ĆWICZENIE NR 2

### Wilgotność powietrza wewnętrznego

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami pomiaru wilgotności powietrza wewnętrznego oraz przeprowadzenie takich pomiarów wykorzystując różnego typu przyrządy. Celem ćwiczenia jest również zapoznanie się z metodami kalibracji przyrządów do pomiaru wilgotności powietrza.

#### 2. Zakres ćwiczenia

##### Zakres ćwiczenia obejmuje:

- zaznajomienie się z metodami i przyrządami pomiarowymi
- przygotowanie pomieszczenia do przeprowadzenia pomiarów (np. zamknięte drzwi, okna, wyłączona wentylacja)
- sporządzenie tabelki do wpisywania danych i wyników pomiarów
- wykonanie pomiarów wilgotności powietrza różnymi przyrządami pomiarowymi
- omówienie wyników

#### 3. Wykonanie ćwiczenia

##### Aparatura pomiarowa

Mierniki do pomiaru wilgotności:

- ALMEMO 2390-5
- LAB-EL LB 520
- LAB-EL LB 702
- wielofunkcyjny miernik AMI301 PRO
- psychrometr Assmanna
- higrometr włosowy

##### Sposób przeprowadzenia ćwiczenia

Dla danych warunków wentylacyjnych i przy danej liczbie osób obecnych w pomieszczeniu:

1. - przeprowadzić pomiary wilgotności powietrza bezpośrednio przed i po wejściu studentów do pomieszczenia
3. - wyniki rejestrować w odstępach czasu podanych przez prowadzącego
3. - wyniki pomiarów wpisać do tabeli
4. - wykonać pomiary wilgotności w trakcie pobytu studentów w pomieszczeniu
5. - powtórzyć pomiary przy zmienionych warunkach wentylacyjnych i zmienionej liczbie osób w pomieszczeniu

8. - przeprowadzić pomiary wilgotności powietrza na zewnątrz badanego pomieszczenia i na zewnątrz budynku
9. - zmierzyć wilgotność wydychanego powietrza

Przykładowe tabele wyników

Czynniki wpływające na zmianę parametrów powietrza wewnętrznego	Wyniki pomiaru wilgotności względnej powietrza				
	Przyrząd pomiarowy	Pomieszczenie			
		A	B	C	D
I.	1				
	2				
	3				
	4				
II.	1				
	2				
	3				
	4				
III.	1				
	2				
	3				
	4				
IV.	1				
	2				
	3				
	4				

Stanowisko	Odczyt czujnika oporowego	Odczyt psychrometru Assmanna			Odczyt termohigrometru	
	Wilgotność względna, [%]	Temperatura termometru suchego [C]	Temperatura termometru mokrego [C]	Obliczona wilgotność względna, [%]	Temperatura [C]	Wilgotność względna [%]

#### 4. Sprawozdanie z ćwiczenia

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

- a. cel i zakres ćwiczenia
- b. krótki opis przebiegu ćwiczenia
- c. tabelkę wyników pomiarów i obliczeń
- d. sposób opracowania wyników pomiarów
- e. przykład obliczeń

- f. wykresy zmian wilgotności powietrza w zależności od liczby osób, czasu ich przebywania w pomieszczeniu i kubatury pomieszczenia
- g. ocenę dokładności określania wilgotności w pomieszczeniu
- h. wnioski

### **Zagadnienia**

1. Czynniki decydujące o wilgotności względnej powietrza.
2. Wagowa metoda pomiaru wilgotności.
3. Metoda punktu rosy.
4. Metoda higroskopowa.
5. Metoda psychrometryczna.
6. Metodyka pomiaru wilgotności.
7. Wzorcowanie przyrządów do pomiaru wilgotności.

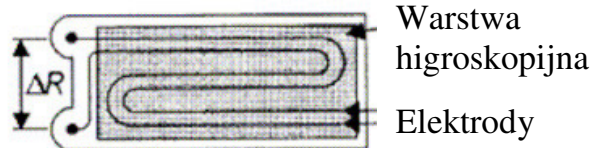
### **Przykłady pytań kontrolnych**

1. Oblicz wilgotność względną i bezwzględną dla powietrza wilgotnego o objętości  $V$  i temperaturze  $T$ , gdy prężność pary wodnej ma wartość  $e$ .
2. Wykreśl zależność prężności pary wodnej od temperatury.
3. Zdefiniuj prężność pary nasyconej i niedosyt wilgotności.
4. W oparciu o równanie Clausiusa-Clapeyrona wyznacz wartość prężności pary nasyconej.
5. Wytłumacz pojęcie deficytu punktu rosy.
6. Objaśnij sposób wyznaczania stanu wilgotności powietrza na wykresie  $I-x$ .
7. W jaki sposób wzorcowane są przyrządy do pomiaru wilgotności powietrza.

## Materiały pomocnicze

### Mierniki oporowe

W celu dokonania pomiaru wilgotności należy zapoznać się z instrukcją obsługi urządzenia, a następnie załączyć zasilanie i odczekać na ustabilizowanie się warunków, po czym dokonać odczytu z wyświetlacza urządzenia.



Schemat czujnika elektrooporowego Dunmora.

### Psychrometr Assmanna

W celu dokonania odczytu wilgotności za pomocą psychrometru Assmanna należy załączyć zasilanie, następnie napełnić wodą próbkówkę i zwilżyć koszulkę termometru mokrego poprzez wsunięcie do próbkówki. Po wykonaniu tych czynności urządzenie należy ustawić w miejscu prowadzenia pomiarów i włączyć. Po ustabilizowaniu się warunków – ok. 3 min. – należy odczytać wartości wskazań termometru suchego i mokrego, a następnie obliczyć wartość wilgotności względnej powietrza korzystając z podanej poniżej empirycznej zależności bądź z tablic psychrometrycznych lub wykresu Moliera.

### Wzór do wyznaczania wilgotności za pomocą odczytów psychrometru:

$$\varphi = \frac{p_p}{p_{nts}} = \frac{p_{ntm} - A \cdot (t_s - t_m) \cdot p_b}{p_{nts}}$$

gdzie:

$p_b$  - ciśnienie barometryczne, [hPa];

$p_{nts}$  - ciśnienie nasycenia w temperaturze termometru suchego, [hPa];

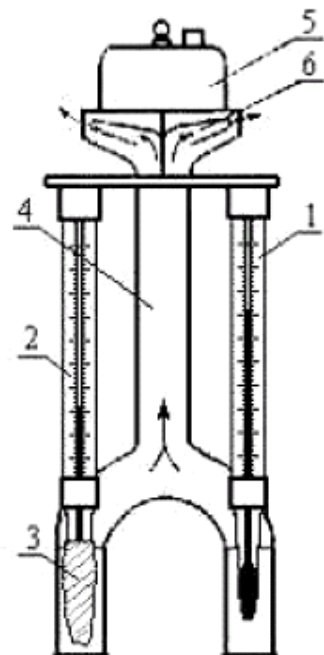
$p_{ntm}$  - ciśnienie nasycenia w temperaturze termometru mokrego, [hPa];

$(t_s - t_m)$  - psychrometryczna różnica temperatur, [K].

$$A = \left( 65 + \frac{6,75}{w} \right) \cdot 10^{-5}$$

gdzie:

$A$  - stała psychrometryczna, prędkość przepływu powietrza dla psychrometru Assmanna przyjmując 1,5 m/s.



Schemat Psychrometru aspiracyjnego Assmana

Budowa psychrometru aspiracyjnego Assmanna

- 1 - termometr suchy,
- 2 - termometr wilgotny,
- 3 - tkanina zwilżająca,
- 4 - kanał przepływu powietrza,
- 5 – wentylator promieniowy,
- 6 – urządzenie napędowe wentylatora (sprężyna lub silniczek elektryczny)

### ***Termohigrometr***

Termohigrometr jest urządzeniem działającym w sposób zautomatyzowany, po zapoznaniu się z instrukcją należy załączyć zasilanie i rozpocząć pomiary. Przed przystąpieniem do użytkowania przyrządu należy wybrać, korzystając z programu użytkownika, sposób wyświetlania wyników pomiarów. Możliwy jest wybór jednostki ciśnienia: hPa albo mmHg. Dodatkowo możliwe jest skonfigurowanie rodzaju parametru pokazywanego na 4. (czwartym) polu wyświetlacza. Można wybrać jeden z czterech następujących parametrów:

- pełny symbol jednostki ciśnienia - będą wyświetlane albo hPa, albo mmHg,
- czas zegara wewnętrznego przyrządu - będą wyświetlane godziny i minuty,
- zawartość pary wodnej w ppm objętościowych,
- temperatura punktu rosy.

Po zakończeniu pomiarów należy odłączyć zasilanie urządzenia.



Termohigrometr LB-702 z sondą pomiarową

Wzory do obliczenia zawartości wilgoci (x) i wilgotności względnej ( $\varphi$ )

$$x = 0,622 \frac{\varphi \cdot p_s(t)}{p - p_s(t) \cdot \varphi} \quad [\text{kgH}_2\text{O/kg p.s.}]$$

$$\varphi = \frac{p \cdot x}{p_s(t) \cdot (0,622 + x)}$$

$\varphi$  – wilgotność względna, [%]

$p_s(t)$  – ciśnienie cząstkowe nasycenia pary wodnej w danej temperaturze, [Pa] - odczyt z tabeli „Ciśnienie cząstkowe nasycenia pary wodnej w powietrzu” dla danej temperatury

$p$  – ciśnienie panujące w pomieszczeniu, [Pa]

Zyski wilgoci od ludzi (W)

$$W = a \cdot n \cdot w_j \quad [\text{g/h}]$$

gdzie:

$a$  – współczynnik jednoczesności przebywania ludzi (odczyt z tabeli)

$w_j$  – jednostkowy strumień pary wodnej oddawany do otoczenia przez człowieka w zależności od aktywności i temperatury otoczenia (odczyt z tabeli) [g/h]

$n$  – liczba osób

Współczynnik jednoczesności przebywania ludzi  $a$

Rodzaj pomieszczenia	Współczynnik jednoczesności $a$
Biura	0,75 ÷ 0,85
Hotele – sale pobytu zbiorowego	0,40 ÷ 0,60
Domy towarowe	0,80 ÷ 0,90
Budynki przemysłowe	0,85 ÷ 0,95
Kina, teatry	1,0

### Zestawienie jednostek wyrażających wilgotność powietrza

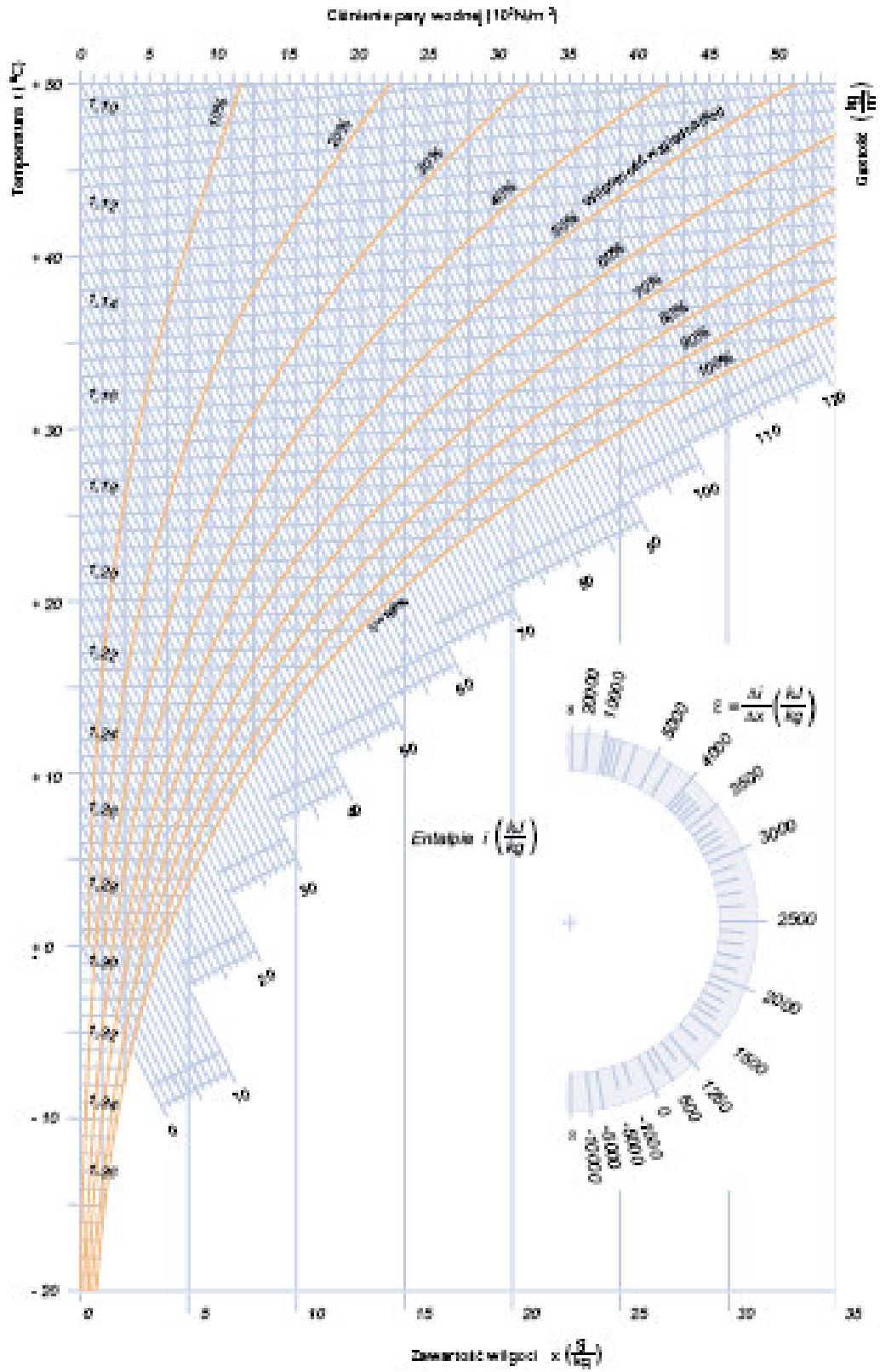
wielkość	zależność	jednostka
prężność (ciśnienie) pary wodnej	$e$	[hPa]
wilgotność względna (ang relative humidity)	$RH = \frac{e}{E} * 100$	[%]
stosunek mieszania	$r = \frac{m_v}{m_a}$	$[\frac{g}{kg}]$
wilgotność właściwa (zawartość pary wodnej)	$q = \frac{m_v}{(m_a + m_v)}$	$[\frac{g}{kg}]$
wilgotność bezwzględna (stężenie, koncentracja pary wodnej)	$d = \frac{m_v}{V}$	$[\frac{kg}{m^3}]$
<p>E – maksymalna prężność pary wodnej w stanie nasycenia                      m<sub>v</sub>-masa pary wodnej,                      m<sub>a</sub>-masa suchego powietrza,                      m<sub>v</sub>+m<sub>a</sub>- masa wilgotnego powietrza,                      V- objętość zajmowana przez powietrze wilgotne</p>		

### Zależność ciśnienia pary wodnej od temperatury

t [°C]	p [hPa]	t [°C]	p [hPa]
0	6,08	16	18,14
1	6,57	17	19,42
2	7,06	18	20,59
3	7,55	19	21,97
4	8,14	20	23,34
5	8,72	21	24,91
6	9,35	22	26,48
7	10	23	28,05
8	10,69	24	29,81
9	11,47	25	31,67
10	12,26	26	33,64
11	13,14	27	35,6
12	14,02	28	37,75
13	15,02	29	40,01
14	15,98	30	42,46
15	17,05	31	45,01







Wykres Moliera.

## ĆWICZENIE NR 3

### Parametry powietrza wewnętrznego a komfort cieplny

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest określenie komfortu cieplnego w badanych pomieszczeniach na podstawie wartości wskaźników PMV oraz PPD. Celem ćwiczenia jest również zapoznanie się ze sposobami oceny mikroklimatu i przyrządami do pomiaru wielkości fizycznych charakteryzujących mikroklimat pomieszczeń.

#### 2. Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- zaznajomienie się z metodami i przyrządami pomiarowymi
- zapoznanie się z instrukcjami obsługi przyrządów
- ustalenie siatki przestrzennej punktów w których będą dokonywane pomiary
- sporządzenie tabelki do wpisywania danych i wyników pomiarów
- wykonanie pomiarów w określonych punktach (zgodnie z ustaloną siatką przestrzenną) temperatury powietrza wewnętrznego
- wykonanie pomiarów średniej temperatury promieniowania otaczających powierzchni
- wykonanie pomiarów wilgotności względnej powietrza wewnętrznego
- wykonanie pomiarów prędkości ruchu powietrza wymuszonego przez wentylację
- wyznaczenie wskaźników komfortu cieplnego PMV oraz PPD
- omówienie wyników

#### 3. Wykonanie ćwiczenia

Aparatura pomiarowa

Mierniki do pomiarów parametrów termicznych powietrza wewnętrznego:

- LAB-EL LB 520
- LAB-EL LB 702
- wielofunkcyjny miernik AMI301 PRO
- Ahlborn z rejestratorem ALMEMO 2390-5

Sposób przeprowadzenia ćwiczenia

Dla danych warunków wentylacyjnych i przy danej liczbie osób obecnych w pomieszczeniu:

1. - przeprowadzić pomiary parametrów termicznych w określonych punktach (zgodnie z ustaloną siatką przestrzenną) pomieszczenia
2. - wyniki rejestrować w odstępach czasu podanych przez prowadzącego
3. - wyniki pomiarów wpisać do tabeli

4. - powtórzyć pomiary przy zmienionych warunkach wentylacyjnych i zmienionej liczbie osób w pomieszczeniu
5. - przeprowadzić pomiary w innym pomieszczeniu różniącym się wielkością, kształtem i lokalizacją

Tabela wyników

Pomiar	Warunki wentylacyjne I			Warunki wentylacyjne II			Temperatura promieniowania	Warunki wentylacyjne I	Warunki wentylacyjne II
	Wysokość							Prędkość ruchu powietrza	
	H1	H2	H3	H1	H2	H3			
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

#### 4. Sprawozdanie z ćwiczenia

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

- a. cel i zakres ćwiczenia
- b. krótki opis przebiegu ćwiczenia
- c. tabelkę wyników pomiarów i obliczeń
- d. sposób opracowania wyników pomiarów
- e. przykład obliczeń
- f. Porównanie wyników z obszarem komfortu wg ASHRAE i standardowej temperatury efektywnej
- g. wykresy izolinii PMV i PPD
- h. ocenę dokładności określania komfortu cieplnego w pomieszczeniu
- i. wnioski

#### Zagadnienia

1. Metabolizm a komfort cieplny.
2. Mechanizm wymiany ciepła.
3. Wskaźniki metaboliczne.
4. Zależność komfortu cieplnego od warunków otoczenia.
5. Równanie komfortu cieplnego Fanger'a.
6. Przyrządy do pomiaru komfortu cieplnego.
7. Warunki wewnętrzne a komfort cieplny.

## Przykłady pytań kontrolnych

1. Które parametry fizyczne środowiska determinują komfort cieplny, jak należy je mierzyć?
2. Od czego zależą: temperatura powierzchni ciała- skóry, energia metabolizmu i straty energii metabolizmu?
3. Na czym polega różnica pomiędzy równaniem i indeksem komfortu cieplnego?
4. Co to jest temperatura efektywna?
5. Jak wyznaczyć współczynnik przenikania ciepła przez okna?
6. W jaki sposób należy wyznaczyć opór cieplny ubrania?
7. W jaki sposób powiększyć dokładność przy określaniu komfortu cieplnego?

## Materiały pomocnicze

Zgodnie z normą ISO 7726 do pomiaru temperatury powietrza stosowane są termometry cieczowe, elektryczne platynowe i termistory, termoelementy oraz termometry manometryczne.

Wilgotności powietrza - wilgotność wyrażona jest przez ciśnienie cząstkowe pary wodnej określa się bezpośrednio ( psychrometry, higrometry), lub pośrednio przez jednoczesny pomiar wilgotności względnej higrometrem i temperatury.

Prędkości przepływu powietrza określa się sondami wielokierunkowymi, które reagują na prędkość powietrza niezależnie od kierunku lub trzema czujnikami kierunkowymi, mierzącymi trzy składowe prędkości przepływu powietrza.

Średnią temperaturę promieniowania wyznacza się dwiema metodami: przez pomiar temperatury poczernionej kuli i temperatury powietrza (oraz prędkości przepływu powietrza w otoczeniu poczernionej kuli przy wymuszonej konwekcji); lub przez obliczenie średniej temperatury promieniowania z wyników pomiarów temperatury ścian, z wykorzystaniem współczynników kątowych wyznaczonych na podstawie wzajemnego ustawienia i wymiarów płaszczyzn promieniujących. W przypadku pomiaru za pomocą poczernionej kuli przy konwekcji naturalnej średnią temperaturę promieniowania wyznacza się z wzoru:

$$\theta_{mr} = \left[ (\theta_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 |\theta_g - \theta_a|^{1/4} \times (\theta_g - \theta_a) \right]^{1/4} - 273$$

gdzie  $\theta_g$  - pomiar temperatury z poczernionej kuli

przy konwekcji wymuszonej:

$$\theta_{mr} = \left[ (\theta_g + 273)^4 + 2,5 \times v_a^{0,6} (\theta_g - \theta_a) \right]^{1/4} - 273$$

W środowisku niejednorodnym termicznie należy stosować trzy poczernione kule, zmierzyć wartość  $\theta_g$  na trzech poziomach: głowy  $\theta_{g1}$ , tułowia  $\theta_{g2}$ , oraz kostek u nóg  $\theta_{g3}$ , i obliczyć średnie temperatury promieniowania  $\theta_{mr1}$ ,  $\theta_{mr2}$ ,  $\theta_{mr3}$  a następnie średnią temperaturę promieniowania  $\theta_{mr}$  dla trzech poziomów ze wzoru:

$$\theta_{mr} = \frac{1 \times \theta_{mr1} + 2 \times \theta_{mr2} + 1 \times \theta_{mr3}}{4}$$

## Rejestratory i mierniki temperatury i wilgotności LB-520/522



Rodzina przyrządów LB-52x jest uniwersalną grupą przyrządów do pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza. Ich cechy użytkowe oraz szeroki wybór typów czynią je niezbędnym narzędziem pomiarowym i rejestracyjnym w każdym laboratorium, hali produkcyjnej, obiekcie magazynowym, i innych obiektach firm działających w systemach ISO, GLP, GMP, HACCP oraz branżowych.



Wspólnymi cechami są: kompaktowa odporna mechanicznie obudowa, wbudowany wyświetlacz LCD, szeroki zakres pomiarowy, duża dokładność, wbudowana długowieczna bateria litowa. Każdy z przyrządów rodziny LB-52x posiada możliwość wykonania kalibracji na życzenie użytkownika w całym okresie eksploatacji. Wykonuje ją laboratorium pomiarowe producenta, który działa w systemie ISO. Na życzenie użytkownika przyrządy dostarczane są z polskimi świadectwami metrologicznymi (wzorowania). Rodzinę przyrządów tworzą:

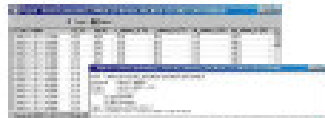
### Rejestrator temperatury i wilgotności względnej LB-520

#### Opis ogólny

- precyzyjny termometr i higrometr do pomiarów w pomieszczeniach lub urządzeniach z komorami roboczymi (komory klimatyczne i termiczne, ciepłarki, suszarki, chłodziarki, zamrażarki)
- rejestracja w wewnętrznej pamięci zmierzonych wartości temperatury i wilgotności względnej
- przekaz danych do komputera PC poprzez złącze IRI i interfejs LB-52I
- możliwość zaprogramowania dwóch wartości progowych dla każdej z wielkości, ich przekroczenie sygnalizuje wyświetlacz
- prezentacja danych pomiarowych w postaci



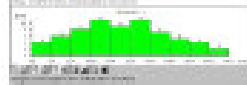
#### tabeli



#### wykresu



#### histogramu



(także same alarmy, dla HACCP)

- podstawowa statystyka
- duży, czytelny wyświetlacz LCD

#### Dane techniczne

Wielkość miarowa - Temperatura	
Rodzaj czujnika	PTI 000
Zakres pomiarowy	-30...+80°C typ LB-520/522 DS17H -100...+200°C typ LB-520TX -200...+550°C typ LB-520TXE
Niepewność pomiaru	LB-520/520 TH/TC/TAE: ±0,1°C ±1 cyfra dla 0...+50°C, ±0,2°C ±1 cyfra dla -30...+80°C, ±0,6°C ±1 cyfra dla -100...+200°C, ±1,2°C ±1 cyfra dla -200...+550°C, LB-520E: ±0,5°C ±1 cyfra dla -20...+40°C
Rozdzielczość	0,1°C dla 190,0...+199,9°C, poza 1°C
Pomiar	co 1 minuta



Melcor S.A. ul. Wąchocka 16 60-463 Poznań  
tel. +48 61 8644 600 fax +48 61 8621 913  
e-mail: opyt@labonline.melcor.pl internet: http://www.melcor.pl

## ĆWICZENIE NR 4

### Zawartość i skład ziarnowy cząstek aerozolowych w powietrzu wewnętrznym

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami pomiaru koncentracji i składu granulometrycznego cząstek aerozolowych zawartych w powietrzu wewnętrznym oraz przeprowadzenie takich pomiarów metodą laserową, aspiracyjną i sedymentacyjną. Celem ćwiczenia jest również analiza zmian koncentracji aerozoli w pomieszczeniu przy różnych warunkach jego użytkowania, przy zmienianych parametrach termicznych powietrza wewnętrznego i różnych warunkach zewnętrznych.

#### 2. Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- zapoznanie się z instrukcjami obsługi aparatury pomiarowej,
- sporządzenie tabel do wpisywania danych i wyników pomiarów,
- wykonanie pomiarów koncentracji cząstek aerozolowych w powietrzu wewnętrznym przy zmienianych parametrach termicznych powietrza wewnętrznego i różnych warunkach zewnętrznych, a także przy zmiennej liczbie osób obecnych w pomieszczeniu:
  - a. *metodą laserową* - cząstek o wielkościach  $>0,3\mu\text{m}$ ,  $>0,5\mu\text{m}$ ,  $>5\mu\text{m}$ ,  $>10\mu\text{m}$ ,
  - b. *metodą aspiracyjną* – całkowitej zawartości cząstek,
  - c. *metodą sedymentacyjną* – cząstek osadzających się na powierzchniach wewnątrz pomieszczenia
- wykonanie pomiarów całkowitej koncentracji pyłu w powietrzu
- wykonanie analiz składu granulometrycznego cząstek aerozolowych
- wykonanie powyższych pomiarów dla cząstek aerozolowych zawartych w powietrzu na zewnątrz budynku.
- omówienie wyników

#### 3. Wykonanie ćwiczenia

Aparatura pomiarowa

- laserowy licznik cząstek aerozolowych ROYCO 243A
- pyłomierz filtracyjny - aspirator SENSIDYNE BDX II
- zestaw do pomiaru sedymentowanego pyłu

### Przebieg ćwiczenia

Dla danych parametrów termicznych powietrza wewnętrznego i przy danej liczbie osób obecnych w pomieszczeniu:

1. - dokonać pomiaru koncentracji cząstek aerozolowych licznikiem laserowym ROYCO 243A (czas pomiaru 1 minuta, pomiary w odstępach 15 minutowych),
2. - dokonać pomiaru koncentracji pyłu pyłomierzem filtracyjnym w 30 minutowych odstępach czasu,
3. - dokonać pomiaru osadzonego pyłu,
4. - wykonać pomiar koncentracji aerozoli w powietrzu na zewnątrz budynku,
5. - zarejestrowane wyniki wpisz do tabeli.

Tabela wyników

Lp.	n>0,3µm	n>0,5µm	n>5µm	n>10µm
1				
2				
.				

Tabela z obliczeniami procentowej zawartości poszczególnych klas

Lp.	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	n <sub>4</sub>	γ [%]			
	0,3-0,5 µm	0,5-5,0 µm	5,0-10 µm	>10 µm	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	n <sub>4</sub>
1								
2								
.								

gdzie:

n - liczba cząstek

γ – procentowa zawartość danej klasy granulometrycznej

$$\gamma = \frac{n}{N} * 100\%$$

N – całkowita ilość zarejestrowanych cząstek

### **4. Sprawozdanie z ćwiczenia**

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

- a. cel i zakres ćwiczenia
- b. krótki opis przebiegu ćwiczenia
- c. tabelkę wyników pomiarów i obliczeń
- d. sposób opracowania wyników pomiarów
- e. przykład obliczeń
- f. krzywe składu ziarnowego i krzywe rozkładu wielkości cząstek aerozolowych
- g. porównanie wyników zawartości i składu ziarnowego cząstek aerozolowych zawartych w powietrzu wewnętrznym i zewnętrznym
- h. porównanie wyników zawartości i składu ziarnowego cząstek aerozolowych zawartych w powietrzu wewnętrznym przy różnych parametrach termicznych powietrza wewnętrznego i różnej liczbie osób obecnych w pomieszczeniu
- i. ocenę dokładności określania zawartości i składu ziarnowego cząstek aerozolowych
- j. wnioski



## Zagadnienia

1. Charakterystyka fizykochemiczna pyłów
2. Opis procesu sedymentacji pyłów.
3. Podział przyrządów do pomiaru koncentracji pyłu w powietrzu.
4. Zasada działania pyłomierzy laserowych.
5. Zasada działania pyłomierzy aspiracyjnych.
6. Zasada działania pyłomierzy specjalnych.
7. Krzywe składu ziarnowego pyłów  $F(d)$ ,  $\Phi(d)$  i krzywe rozkładu pyłów  $\gamma(d)$ ,  $g(d)$ .

## Przykłady pytań kontrolnych

1. Dokonaj podziału pyłów zawartych w powietrzu ze względu na wielkość, kształt, zagrożenie dla zdrowia, itp.
2. Określ graniczną prędkość swobodnego opadania grubego pyłu w warunkach laminarnego opływu powietrza.
3. Określ graniczną prędkość swobodnego opadania grubego pyłu w warunkach turbulentnego opływu powietrza.
4. Wyznacz graniczną prędkość skrapowanego opadania pyłu.
5. Omów zasadę działania pyłomierzy laserowych
6. Na podstawie danych wielkości ziarn pyłu i ich udziałów wyznacz krzywe składu ziarnowego pyłów  $F(d)$ ,  $\Phi(d)$  i krzywe rozkładu pyłów  $\gamma(d)$ ,  $g(d)$ .
7. Na podstawie danego składu ziarnowego, składu mineralnego, kształtu ziarn pyłu oraz koncentracji w powietrzu omów zagrożenia dla układu oddechowego.

## Materiały pomocnicze

Cząstki zawieszone w powietrzu

Nazewnictwo cząstek	Średnica aerodynamiczna <sup>*)</sup>
Cząstki bardzo grube	$d > 10\mu\text{m}$
Cząstki grube	$2,5\mu\text{m} < d \leq 10\mu\text{m}$
Cząstki drobne	$0,1\mu\text{m} < d \leq 2,5\mu\text{m}$
Cząstki bardzo drobne	$d \leq 2,5\mu\text{m}$

<sup>\*)</sup> Średnica aerodynamiczna cząstki jest średnicą kuli o gęstości  $1\text{g}/\text{m}^3$ , mającej taką samą jak dana cząstka (o dowolnym kształcie i gęstości) prędkość opadania w powietrzu nieruchomym i w powietrzu przepływającym laminarnie.

- Pyłomierz laserowy Royco 243A jest czterokanałowym licznikiem cząstek do powietrza wyposażonym w czujnik o konstrukcji opartej na diodzie laserowej. Wyniki pomiarów są podawane w postaci całkowitej ilości cząstek w pobranej próbce oraz ilości cząstek w stopie sześciennym lub metrze sześciennym. Wielkości zliczanych cząstek:  $> 0,3$ ;  $> 0,5$ ;  $> 5$ ;  $> 10\mu\text{m}$ .
- W pyłomierzu filtracyjnym zassane zapyłone powietrze przepuszczone jest przez materiał filtracyjny, na którym pozostaje faza rozproszona. Zestaw pomiarowy składa się z pompy zasysającej zapewniającej stałe natężenie przepływu powietrza, przepływomierza (rotometru) do nastawiania i regulacji przepływu powietrza przez filtr, głowicy pomiarowej.
- Pyłomierz sedymentacyjny stanowi urządzenie, które gromadzi osadzające się cząsteczki na ściśle określonej powierzchni. Zawartość pyłu w powietrzu określa się na podstawie wielkości powierzchni gromadzącej cząstki i czasu ekspozycji.

Oznaczania koncentracji pyłu całkowitego i pyłu respirabilnego w metodach filtracyjno-wagowych.

W celu wyznaczenia koncentracji pyłu w powietrzu filtr gromadzący cząstki ważony jest na wadze analitycznej przed i po zassaniu określonej ilości zanieczyszczonego powietrza.

Koncentracja pyłu całkowitego lub respirabilnego (w  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) w badanym powietrzu obliczana jest wg wzoru:

$$X = [(m_2 - m_1)/V] * 1000$$

$m_2$  - masa filtra po pobraniu próby powietrza,  $\text{mg}$ ,

$m_1$  - masa filtra przed pobraniem próby powietrza,  $\text{mg}$ ,

$V$  - objętość próby powietrza, obliczona jako iloczyn objętościowego natężenia pobieranego powietrza i czasu pobierania,  $l$ .

## ĆWICZENIE NR 5

### Stężenie O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i CO w powietrzu wewnętrznym

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami pomiaru stężenia O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i CO w powietrzu wewnętrznym, przeprowadzenie takich pomiarów wykorzystując elektroniczne czujniki gazów. Celem ćwiczenia jest również zbadanie, w jaki sposób wielkość pomieszczenia, sprawność działania wentylacji, a także miejsce jego usytuowania w budynku i liczba znajdujących się w nim osób wpływa na zmiany stężenia badanych gazów.

#### 2. Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- zaznajomienie się z metodami i przyrządami pomiarowymi
- przygotowanie pomieszczenia do przeprowadzenia pomiarów (np. zamknięte drzwi, okna, wyłączona wentylacja)
- sporządzenie tabelki do wpisywania danych i wyników pomiarów
- wykonanie pomiaru stężenia CO, O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> w powietrzu wewnętrznym badanego pomieszczenia
- omówienie wyników

#### 3. Wykonanie ćwiczenia

Aparatura pomiarowa

Mierniki do pomiaru stężenia O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i CO:

- ALMEMO 2390-5
- IRM-2
- INDUSTRIAL SCIENTIFIC MX6 IBRID
- Testo 325M-2
- UniGas 3000+

Sposób przeprowadzenia ćwiczenia

Dla danych warunków wentylacyjnych i przy danej liczbie osób obecnych w pomieszczeniu:

1. - przeprowadzić pomiary stężenia gazów bezpośrednio po wejściu studentów do pomieszczenia
2. - wyniki rejestrować w odstępach czasu podanych przez prowadzącego
3. - wyniki pomiarów wpisać do tabeli
4. - wykonać pomiary stężenia gazów w trakcie pobytu studentów w pomieszczeniu
5. - przewietrzyć pomieszczenie

6. - powtórzyć pomiary przy zmienionych warunkach wentylacyjnych i zmienionej liczbie osób w pomieszczeniu
7. - przeprowadzić pomiary w innym pomieszczeniu różniącym się wielkością, kształtem i lokalizacją
8. - przeprowadzić pomiary na zewnątrz badanego pomieszczenia i na zewnątrz budynku
9. - zmierzyć stężenia CO, O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> w wydychanym powietrzu.

Tabele wyników

Pomiar	Liczba osób	Stężenie [ppm]			Stężenie [ppm]			Stężenie [ppm]		
		Warunki wentylacyjne I			Warunki wentylacyjne II			Warunki wentylacyjne III		
		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO
1										
2										
3										
.										

	Stężenie [ppm]		
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO
Stężenie w wydychanym powietrzu			
Stężenie na zewnątrz budynku			
Stężenie na zewnątrz pomieszczenia			

### 3. Sprawozdanie z ćwiczenia

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

- j. cel i zakres ćwiczenia
- k. krótki opis przebiegu ćwiczenia
- l. tabelkę wyników pomiarów i obliczeń
- m. sposób opracowania wyników pomiarów
- n. przykład obliczeń
- o. wykresy stężenia O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i CO w pomieszczeniach w zależności od liczby osób, czasu ich przebywania w pomieszczeniu i kubatury pomieszczenia
- p. ocenę dokładności określania stężeń O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i CO w pomieszczeniu
- q. wnioski

## Zagadnienia

1. Analiza chemiczna powietrza.
2. Udziały i stężenia gazów w powietrzu wewnętrznym..
3. Metody fizycznej i chemicznej analizy gazów.
4. Źródła chemicznego zanieczyszczenia powietrza w budynkach mieszkalnych.
5. Charakterystyka fizyko-chemiczna gazów  $O_2$  i  $CO_2$ .
6. Metodyka pomiaru zawartości  $O_2$  i  $CO_2$  w powietrzu wewnętrznym.
7. Wzorcowanie i sprawdzanie wskazań przyrządów.

## Przykłady pytań kontrolnych

1. Przedstaw schemat budowy atmosfery ziemskiej i skład chemiczny powietrza atmosferycznego.
2. Omów metody chemicznej analizy gazów.
3. Omów metody fizycznej analizy gazów.
4. Przedstaw współzależność stężenia  $O_2$  i  $CO_2$  w powietrzu wewnętrznym.
5. Omów chemiczne zanieczyszczenia powietrza w budynkach mieszkalnych.
6. Scharakteryzuj podstawowe źródła chemicznego zanieczyszczenia powietrza w budynkach.
7. Przedstaw skutki zdrowotne przy oddychaniu chemicznie zanieczyszczonym powietrzem.

## Materiały pomocnicze

### Efekty oddziaływania CO na organizm człowieka

<i>Stężenie CO ppm, %</i>	<i>Czas wdychania i skutek</i>
<b>30 ppm 0,0003%</b>	Wartość MAK (Maksymalne stężenie w miejscu pracy dla 8-godzinnego czasu pracy)
<b>200 ppm 0,02%</b>	Lekkie bóle głowy po 2 - 3 godzinach
<b>400 ppm 0,04%</b>	Ból głowy w okolicy czoła, po 1 - 2 godzinach bóle w obszarze całej głowy
<b>800 ppm 0,08%</b>	Zawroty głowy, mdłości i drgawki po 45 minutach, utrata świadomości po 2 godzinach
<b>1600 ppm 0,16%</b>	Bóle głowy, mdłości, zawroty głowy po 20 minutach, śmierć w ciągu 2 godzin
<b>3200 ppm 0,32%</b>	Bóle głowy, mdłości, zawroty po 5 - 10 minutach, śmierć w ciągu 30 minut
<b>6400 ppm 0,64%</b>	Bóle głowy i zawroty po 1 - 2 minutach, Śmierć w ciągu 10 - 15 minut
<b>12800 ppm 1,28%</b>	Śmierć w ciągu 1 - 3 minut

### Efekty oddziaływania CO<sub>2</sub> na organizm człowieka

<i>Stężenie CO<sub>2</sub> ppm, %</i>	<i>Efekt działania na organizm ludzki</i>
<b>350 – 450 ppm</b>	Świeże powietrze atmosferyczne, dobre warunki
Poniżej <b>600 ppm</b>	Akceptowalne warunki świeżości powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych/biurowych
Poniżej <b>1000 ppm, 0,10%</b>	Wymóg minimum higienicznego, skala Pettenkofera
<b>10 000 ppm 1,00%</b>	Lekki wzrost częstości oddychania
<b>15 000 ppm 1,50%</b>	Maksymalna tolerowana dawka dla pracowników w specyficznych warunkach, pod kontrolą medyczną: browary, łodzie podwodne, statki kosmiczne
<b>2,00%</b>	Pogłębiony oddech, wzrost częstości oddychania o ok. 50%, ekspozycja przez kilka godzin powoduje bóle głowy i uczucie zatrucia
<b>3,00%</b>	Utrudnione oddychanie, ok. dwukrotny wzrost częstości oddychania, efekty podobne do działania słabego narkotyku, tj. osłabienie słuchu, ból głowy, wzrost ciśnienia krwi i częstotliwości pulsu
<b>4,00% - 5,00%</b>	Wyraźnie pogłębiony oddech, czterokrotny wzrost częstości oddychania, po ok. 30 minutach ekspozycji może pojawić się odczucie braku swobody oddychania

Powyżej **10,00%**  
do **100,00%**

Gwałtowna i szybka utrata przytomności, przedłużająca się ekspozycja prowadzi do śmierci przez uduszenie

#### Monitoring zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu wewnętrznym

Człowiek w procesie oddychania pobiera z powietrza tlen, a wydziela dwutlenek węgla. W spoczynku zdrowy człowiek oddycha około 16 razy na minutę. W czasie jednego oddechu, wdycha i wydycha ok. 500cm<sup>3</sup> powietrza, co nazywane jest objętością oddechową. Wynika stąd, że wentylacja płuc równa jest ok. 8dm<sup>3</sup>/min. W ciągu minuty 250cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub> przechodzi do organizmu, a wydalane jest 200cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>. Powietrze wydychane przez człowieka zawiera od 2 do 3% dwutlenku węgla. Stężenie O<sub>2</sub> w powietrzu mniejsze od 18% jest uważane za szkodliwe dla zdrowia człowieka. Zaleca się, aby udział CO<sub>2</sub> w pomieszczeniu, w którym przebywają ludzie, nie przekraczał 0,15%. Niektóre standardy, w tym amerykańskie i unijne określają koncentrację CO<sub>2</sub> w powietrzu wewnątrz budynku w zakresie 800 - 1500 ppm, co odpowiada ilości powietrza wentylacyjnego 20 ÷ 30 m<sup>3</sup>/h na osobę.

#### Metody pomiarowe

Elektroniczne czujniki CO<sub>2</sub> wykorzystują absorpcję fal promieniowania podczerwonego. Zależność pomiędzy sygnałem wyjściowym modułu i stężeniem CO<sub>2</sub> określona jest przez prawo absorpcji Lamberta-Beera.

Elektroniczne czujniki CO i O<sub>2</sub> wykorzystują elektrochemiczne reakcje, których efekty są proporcjonalne do stężenia CO lub O<sub>2</sub> w badanym powietrzu.

#### INDUSTRIL SCIENTIFIC MX6 IBRID



##### **Czujniki:**

Gaz wybuchowy/Metan – katalityczny dyfuzyjny/podczerwień  
Tlen i gazy toksyczne - elektrochemiczny  
CO<sub>2</sub> - podczerwień  
Lotne związki organiczne (VOC) - fotojonizacyjny

##### **Zakresy pomiarowe:**

Gazy wybuchowe – 0 do 100% DGW co 1%  
Metan – 0 do 5% objętości co 0,1%  
(opcjonalnie 0 do 100% obj.)  
Tlen – 0 do 30% objętości co 0,1%  
Tlenek węgla – 0 do 999 ppm co 1 ppm  
(opcjonalnie 0 do 9.999 ppm)

Siarkowodór – 0 do 500 ppm co 0,1 ppm  
 Wodór, Tlenek azotu – 0 do 999 ppm co 1 ppm  
 Chlor – 0 do 99,9 ppm co 0,1 ppm  
 Dwutlenek azotu, Dwutlenek siarki – 0 do 99,9 ppm co 0,1 ppm  
 Cyjanowodór, Chlorowodór – 0 do 30 ppm co 0,1 ppm  
 Amoniak – 0 do 200 ppm co 1 ppm  
 Dwutlenek chloru – 0 do 1 ppm co 0,01 ppm  
 Fosforowodór – 0 do 5 ppm co 0,01 ppm  
 (opcjonalnie do 999 ppm)  
 Tlenek etylenu – 0 do 10 ppm co 0,1 ppm  
 Dwutlenek węgla – 0 do 5% objętości co 0.1 %  
 Lotne związki organiczne (VOC)–0 do 2.000 ppm co 0,1 ppm

### UniGas 3000+



#### cela elektrochemiczna O<sub>2</sub>

- typ czujnika: elektrochemiczny
- zakres: 0...25%
- rozdzielczość: 0,1%
- dokładność: 0,2%

#### cela elektrochemiczna CO

- typ czujnika: elektrochemiczny z kompensacją H<sub>2</sub>
- zakres pomiarowy: 0...8000ppm  
(0...100.000ppm - z rozcieńczaniem)
- rozdzielczość: 1ppm
- dokładność: ± 10ppm (0...300ppm)  
± 4% mierz. wart. (300...2000ppm)  
± 10% mierz. wart. (od 2000 w górę)

#### pomiar stężenia CO<sub>2</sub>

- typ czujnika: wyliczane na podstawie stężenia O<sub>2</sub>
- zakres pomiarowy: 0...100%
- rozdzielczość: 0,1%
- dokładność: -



## ĆWICZENIE NR 6

### Stężenie radonu w powietrzu wewnętrznym

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami pomiaru stężenia radonu w powietrzu wewnętrznym i spektrometrii promieniowania jonizującego oraz przeprowadzenie takich pomiarów. Celem ćwiczenia jest również zbadanie, w jaki sposób wielkość pomieszczenia, sprawność działania wentylacji, a także miejsce jego usytuowania w budynku wpływa na zmiany stężenia radonu.

#### 2. Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- prezentację przyrządów pomiarowych
- omówienie sposobu działania przyrządów pomiarowych
- przygotowanie pomieszczenia do przeprowadzenia pomiarów (np. zamknięte drzwi, okna, wyłączona wentylacja)
- sporządzenie tabelki do wpisywania danych i wyników pomiarów
- wykonanie pomiaru stężenia radonu w powietrzu wewnętrznym badanego pomieszczenia
- przeprowadzenie pomiaru widma energetycznego promieniowania w badanym pomieszczeniu
- omówienie wyników

#### 3. Wykonanie ćwiczenia

Aparatura pomiarowa

Miernik do pomiaru stężenia radonu:

- INDUSTRIAL SCIENTIFIC MX6 IBRID
- Licznik Geigera Gamma-Scout
- AlphaGUARD PQ2000
- Detektor węglowy typu Pico-Rad
- Radiometr kieszonkowy RK-67
- Wielokanałowy analizator widma

Sposób przeprowadzenia ćwiczenia

Dla danych warunków wentylacyjnych w pomieszczeniu:

1. - przeprowadzić pomiary stężenia radonu

2. - wyniki rejestrować w odstępach czasu podanych przez prowadzącego
3. - wyniki pomiarów wpisać do tabeli
4. - przewietrzyć pomieszczenie
5. - powtórzyć pomiary przy zmienionych warunkach wentylacyjnych
6. - przeprowadzić pomiary w innym pomieszczeniu różniącym się wielkością, kształtem i lokalizacją
7. - przeprowadzić pomiary na zewnątrz badanego pomieszczenia i na zewnątrz budynku
8. - zbadać widmo energetyczne promieniowania w pomieszczeniu

Przykładowa tabela wyników

Lp.	Czas	Temperatura powietrza	Wilgotność powietrza	<sup>222</sup> Rn
	[h]	[°C]	[%]	[Bq/m <sup>3</sup> ]
1				
2				
.				

#### 4. Sprawozdanie z ćwiczenia

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

- a. cel i zakres ćwiczenia
- b. krótki opis przebiegu ćwiczenia
- c. tabelkę wyników pomiarów i obliczeń
- d. sposób opracowania wyników pomiarów
- e. przykład obliczeń
- f. wykresy zmian stężenia radonu w pomieszczeniach w zależności czasu ich przewietrzania i kubatury pomieszczenia
- g. ocenę dokładności określania stężenia radonu w pomieszczeniu
- h. wnioski

#### Zagadnienia

1. Pierwiastki promieniotwórcze, izotopy
2. Izotopy radonu.
3. Radon w budynkach.
4. Chemia i pochodne radonu.
5. Ocena stężenia radonu, metody pomiaru.
6. Zagrożenia dla człowieka.
7. Metody obniżania stężenia radonu w powietrzu wewnętrznym.

### Przykłady pytań kontrolnych

1. Co to są pierwiastki promieniotwórcze?
2. Wyjaśnij zjawisko promieniotwórczości naturalnej.
3. Scharakteryzuj izotopy radonu.
4. Opisz szereg uranowo radonowy.
5. Podaj główne źródła radonu w pomieszczeniach mieszkalnych
6. Objaśnij szkodliwe działanie radonu na układ oddechowy.
7. Przedstaw sposoby niwelacji zagrożenia radonem dla pomieszczeń.

### Materiały pomocnicze

#### Obliczanie ekshalacji radonu z materiałów budowlanych:

$$E_{Rn} = S_{Ra} \cdot \eta \cdot \rho_p \cdot \lambda_{Rn} \cdot \frac{d}{2}$$

gdzie:  $E_{Rn}$ - ekshalacja radonu Rn-222 w [Bq/m<sup>2</sup>h]  
 $S_{Ra}$ - stężenie radu Ra-226 w Bq/kg]  
 $\eta$ - współczynnik emanacji radonu Rn-222  
 $\rho_p$ - gęstość pozorną materiału budowlanego [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\lambda_{Rn}$ -stała rozpadu radonu, (Rn222=7,56×10<sup>-3</sup>h<sup>-1</sup>)  
 $d$ - grubość elementu budowlanego, [m]

#### Obliczanie stężenia radonu w powietrzu pomieszczeń zamkniętych:

$$S_{Rn(w)} = \frac{E_{Rn} \cdot F \cdot V^{-1} + L \cdot S_{Rn(z)}}{\lambda_{Rn} + L}$$

gdzie:  $S_{Rn(w)}$ -stężenie radonu Rn222 w powietrzu pomieszczeń zamkniętych, [Bq/m<sup>2</sup>h]  
 $F \cdot V^{-1}$ -stosunek powierzchni całkowitej pomieszczenia do jego objętości, [m<sup>-1</sup>]  
 $L$  – intensywność wymiany powietrza, [h<sup>-1</sup>]  
 $\lambda_{Rn}$ -stała rozpadu radonu, (Rn222=7,56×10<sup>-3</sup>h<sup>-1</sup>)  
 $S_{Rn(z)}$ -stężenie radonu Rn222 w powietrzu zewnętrznym, [Bq/m<sup>3</sup>]

### Wartości współczynnika $\eta$ dla niektórych surowców i materiałów budowlanych

Nazwa minerału lub materiału budowlanego	Wartość współczynnika $\eta$ [%]
Beton komórkowy	5,0
Beton zwykły	2,2
Cegła ceramiczna	0,4
Cegła silikatowa	9,0
Gips naturalny	4,0
Gips syntetyczny apatytowy	2,0
Gips syntetyczny fosforytowy	9,3
Granit	7-33
Piaskowiec naturalny	10,0
Piaskowiec hutniczy	1,0
Pumeks naturalny	2,5
Żużel hutniczy	0,8

### Wartość współczynników emanacji radonu Rn-222 wybranych substancji mineralnych

Rodzaj substancji	Współczynnik emanacji $\eta$ [%]
Blenda smolista	0,06-16,6
Gleba (przeciętna)	40
Gleba piaszczysta	10
Gnejs	1,00-40,00
Granit	7,00-33,00
Granodioryt	17,00-40,00
Skały lite (przeciętne)	2,50
Tytanit	9,00
Uranit	0,60

### Miernik Alpha GUARD PQ2000

AlphaGUARD wyposażony jest w komorę jonizacyjną (3D) o objętości 0,6 dm<sup>3</sup> do pomiarów promieniowania alfa. Objętość czynna detektora wynosi 0.56 dm<sup>3</sup>. Urządzenie umożliwia pomiary radonu w powietrzu z możliwością rejestracji stężenia radonu w sposób quasi-ciągły. Wbudowane na wejściu do komory jonizacyjnej filtry szklane zapewniają wychwyty produktów rozpadu radonu (współczynnik wychwyty pochodnych radonu >99.9%) i przeciwdziałają kontaminacji komory pomiarowej. Cyfrowa obróbka sygnału pomiarowego z wbudowanym algorytmem eliminacji zliczeń od produktów rozpadu radonu pozwala na poprawną rejestrację stężeń radonu w komorze pomiarowej. Dzięki wyposażeniu miernika w pamięć wewnętrzną możliwe jest gromadzenie zarejestrowanych wyników stężeń radonu oraz parametrów klimatycznych z krokiem co 10 minut lub co 60 minut. Przy pomiarach z

rejestracją co 10 minut jest możliwe gromadzenie danych przez 21 dni a przy rejestracji co 60 minut przez około 4 miesiące bez odczytu. Możliwe jest zarejestrowanie i zapamiętanie do 32 niezależnych zestawów przebiegów zmienności rejestrowanych parametrów bez konieczności odczytu danych z pamięci AlphaGUARD'a na nośnik zewnętrzny. System pomiarowy AlphaGUARD pozwala na kontrole stężeń radonu oraz pozostałych parametrów w czasie pomiaru. Pełna analiza zmienności stężeń oraz innych rejestrowanych parametrów jest dostępna dzięki specjalistycznemu dedykowanemu oprogramowaniu (ExpertView), które współpracuje z miernikiem stężeń radonu i może być wykonana off-line po sczytaniu pamięci AlphaGUARD'a.

Autonomię urządzenia zwiększa znacznie wewnętrzny zestaw ładowalnych baterii umożliwiający pracę ciągłą przez około 9 dni bez ładowania, możliwa jest również praca na zasilaniu zewnętrznym przez praktycznie nieograniczony czas. Dzięki możliwości przyłączania do systemu zewnętrznych mierników parametrów klimatycznych i innych oraz dołączenia zewnętrznej pompy dostarczającej powietrze do komory jonizacyjnej system wykazuje dużą elastyczność w możliwościach zastosowań.

### **Licznik Geigera Gamma-Scout**

Wysokiej mocy miernik promieniowania alfa, beta, gamma. Pomiar promieniowania w otoczeniu i sygnalizator podwyższonego promieniowania przekroczonego nawet do 500 razy wartości dopuszczalnej, równej 1,0 mSv/rok = ok. 0,1 mikroSv/godz. przez okres jednego roku. Regularne zliczanie przez lata, wewnętrzne gromadzenie danych, interfejs do ściągania danych, program analizy danych działający pod Windows .

Szczególne cechy:

- licznik okienkowy (GM) promieniowania alfa, beta, gamma,
- system osłon przed promieniowaniem alfa i alfa/beta,
- mierzy małe zmiany promieniowania.
- zakres pomiaru 0,01 mikroSv/h - 50,00 mikroSv/h.
- pomiar impulsów 1-99 sek, 1-99 min, 1-99 h, 24 h wartość średnia w mikroSv/h,
- wewnętrzne zabezpieczenie impulsów do wyboru w takcie 1 min., 10 min., 1 godz., 1 dzień i 7 dni.
- przyłączenie do komputera, odczyt danych,
- wbudowana bateria litowa z okresem trwałości 12 lat.
- wyświetlacz ciekłokrystaliczny dużych rozmiarów,
- detektor promieniowania,
- licznik okienny GM, samokasujący się,
- rodzaje promieniowania; alfa od 0,2 MeV, beta od 0,2 MeV, gamma od 0,02 MeV,
- czułość na promienie gamma 95 imp./min. przy 1 mikroSv/h, efekt zerowy <10 Imp./min. (licznik okienny osłonięty 5 cm warstwą ołowiu).
- żywotność: dłużej niż 117.000 godz. przy 20 Imp./min. (ok. 12 lat).
- wymiary: 161 x 70 x 30 mm. Waga 153 g.

Zakrzewski T.: *Promieniotwórczość naturalna w budownictwie.*  
Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2005

## ĆWICZENIE NR 7

### Ocena zapachowej jakości powietrza wewnętrznego

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami oceny zapachowej jakości powietrza wewnętrznego i wykonanie takiej oceny na podstawie badań olfaktometrycznych. Celem ćwiczenia jest również zbadanie jakości hedonicznej, intensywności zapachu i progów wyczuwalności węchowej wybranych odorantów.

#### 2. Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- zaznajomienie się z metodami i przyrządami pomiarowymi
- przygotowanie próbki powietrza wewnętrznego i mieszanek odorantów
- sporządzenie tabelki do wpisywania danych i wyników pomiarów
- wykonanie pomiarów stężenia progowej wyczuwalności węchowej dla próbki badanego powietrza wewnętrznego i wybranych odorantów
- wykonanie pomiarów stężenia progowej wyczuwalności węchowej dla próbki badanego powietrza wewnętrznego i wybranych odorantów
- wykonanie pomiarów jakości hedonicznej dla próbki badanego powietrza wewnętrznego i wybranych odorantów
- przeprowadzenie analizy uzyskanych wyników

#### 3. Wykonanie ćwiczenia

Aparatura pomiarowa

Olfaktometr TO7

Oprzyrządowanie olfaktometru

Sposób przeprowadzenia ćwiczenia

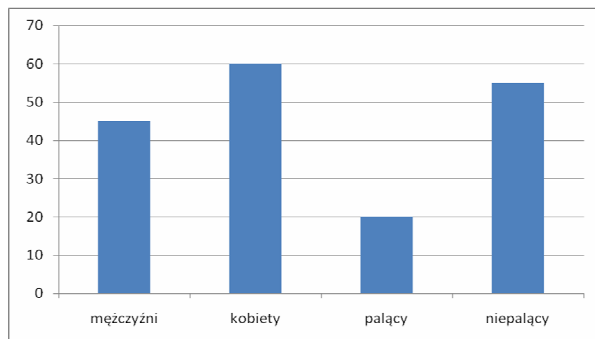
Oznaczenia progów wyczuwalności węchowej, intensywności zapachu i jakości hedonicznej próbek powietrza wewnętrznego i próbek wybranych odorantów przeprowadzić zgodnie z instrukcją obsługi olfaktometru TO7 i zgodnie z normą PN- EN 13725, 2003.

1. - pobrać próbki powietrza wewnętrznego z badanych pomieszczeń
2. - dokonać wyboru substancji zapachowych, na których zostaną przeprowadzone testy
3. - dobrać panele sensoryczne – czteroosobowe grupy studentów
4. - odnotować wśród testujących płeć, wiek i skłonność do palenia papierosów
5. - przeprowadzić zaplanowane oznaczenia
6. - wyniki oznaczeń wpisać do tabeli

### Przykładowa tabela wyników

Osoby oceniające	Stężenie progowej wyczuwalności			Średnie stężenie progowej wyczuwalności	
	Seria 1	Seria 2	Seria 3	Średnia 1,2,3	Średnia 2,3
1					
2					
3					
4					

### Propozycja przedstawienia wyników



## 4. Sprawozdanie z ćwiczenia

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

- cel i zakres ćwiczenia
- krótki opis przebiegu ćwiczenia
- tabelkę wyników pomiarów i obliczeń
- sposób opracowania wyników pomiarów
- przykład obliczeń
- analizę statystyczną wyników, błędy oznaczeń
- wnioski

## **Zagadnienia**

1. Olfaktometria
2. Prawa psychofizyczne
3. Klasyfikacja zapachów
4. Budowa narządu węchu
5. Teorie percepcji zapachów
6. Stężenie progowej wyczuwalności węchowej
7. Stężenie odoranta (LJZ), mieszaniny
8. Interakcje węchowe
9. Uciążliwość zapachowa
10. Krzywe składu i rozkładu zapachów

## **Przykłady pytań kontrolnych**

1. Co to jest zapach?
2. Jaki jest mechanizm rozpoznawania zapachów ?
3. Omów teorię stereochemiczną i wibracyjną rozpoznawania zapachów
4. Omów sposoby niwelacji odorów
5. Prawo Webera-Fechnera
6. Prawo Stevensa
7. Co to jest próg wyczuwalności węchowej ?
8. Scharakteryzuj mechanizmy interakcji węchowych



## Materiały pomocnicze

**Prawo Webera-Fechnera** - zasada mówiąca o relacji pomiędzy fizyczną miarą bodźca a reakcją układu biologicznego. Dotyczy ono reakcji na bodźce takich zmysłów jak wzrok, słuch czy węch. Jest to prawo fenomenologiczne będące wynikiem wielu obserwacji praktycznych i znajdująca wiele zastosowań technicznych.

*Wartość reakcji układu biologicznego jest proporcjonalna do logarytmu bodźca.*

Prawo to można wyrazić wzorem

$$w = k \cdot \ln \frac{B}{B_0}$$

gdzie:

$w$  - reakcja układu biologicznego (wrażenie zmysłowe),

$B$  - natężenie danego bodźca,

$B_0$  - wartość początkowa natężenia danego bodźca,

Dla wrażeń węchowych równanie logarytmiczne Webera-Fechnera przybiera postać:

$$I = k_{W-F} \cdot \log \frac{S}{S_{PWW}}$$

$I$  – intensywność wrażenia (zapachu),

$k_{W-F}$  – współczynnik proporcjonalności – wykładnik Webera-Fechnera,

$S$  – stężenie odoranta w powietrzu wywołujące wrażenie zapachu o intensywności  $I$ ,

$S_{PWW}$  – próg węchowej wyczuwalności,

### **Określenie stężenia, przy jakim występuje próg wyczuwalności węchowej**

Po osiągnięciu stanu gotowości olfaktometru potwierdzanego przez 3 sygnały dźwiękowe następuje procedura pomiarowa. Członkowie zespołu oceniającego powinni znajdować się na swoich stanowiskach i być przygotowanym do wąchania. Muszą oni wdychać i wydychać powietrze zgodnie z rytmem narzuconym przez błyskające czerwone diody. Gdy odór został wyczuły należy nacisnąć przycisk – „tak”.

### **Pomiar intensywności odoru**

Do pomiaru intensywności konieczny jest udział dwóch czteroosobowych zespołów oceniających, czyli łącznie 8 osób. Pełny pomiar intensywności odoru trwa co najmniej 2 godziny. Po zakończeniu serii testów przez pierwszy zespół, pracę rozpoczyna drugi. Członkowie zespołu oceniającego muszą w tym teście naciskać jeden z siedmiu klawiszy odpowiadających siedmiostopniowej skali intensywności odoru od „bez odoru” do „silny odór”.

## Określenie jakości hedonicznej powietrza

Procedura tej oceny jest identyczna z oznaczaniem intensywności. Różnica polega na ilości ekspertów zespołu oceniającego, gdyż do tej oceny potrzeba 16 ekspertów w czterech grupach. Różnica też polega na skali ocen, która obejmuje 9 klawiszy od „wyjątkowo przyjemny” przez „obojętny” do „silnie nieprzyjemny”.

### Uwagi dotyczące członków grup oceniających

- Na 30 minut przed oraz w czasie pomiaru olfaktometrycznego członkom zespołu nie wolno palić, jeść, pić, lub używać gumy do żucia.
- Członkowie zespołu powinni zwracać dużą uwagę by nie zakłócać percepcji innych osób przez niedostatek higieny lub stosowanie perfum, dezodorantów lub kosmetyków.
- Członkowie zespołu powinni przebywać w pomieszczeniu z porównywalnymi warunkami przez 15 minut przed rozpoczęciem pomiaru, aby zaadoptować się do środowiska zapachowego istniejącego w pomieszczeniu.
- Podczas całej serii testów członkowie zespołu oceniającego muszą pozostawać na swoich stanowiskach i naciskać odpowiednio swoje klawisze aż cała seria testów zostanie zakończona. Ich niewłaściwe zachowanie może wpłynąć na ocenę przez pozostałych członków zespołu.

#### Wykorzystane materiały

- Instrukcja obsługi *Olfaktometr TO7* – Insitut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel 1996
- PN- EN 13725:2003 (E)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów zapachowej jakości powietrza i metod oceny zapachowej jakości powietrza

## ĆWICZENIE NR 8

### Badania wyczuwalnej jakości powietrza wewnętrznego

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami oceny wyczuwalnej jakości powietrza wewnętrznego oraz przeprowadzenie takich ocen wykorzystując sensoryczne odczucia testującej grupy osób. Celem ćwiczenia jest również zbadanie, w jaki sposób wielkość pomieszczenia, sprawność działania wentylacji i liczba znajdujących się w nim osób wpływa na oceny jakości powietrza wewnętrznego.

#### 2. Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- przygotowanie pomieszczenia do przeprowadzenia badań ankietowych (ustalenie parametrów termicznych, liczby obecnych osób, liczby osób testujących)
- sporządzenie tabelki zbiorczej do wpisywania danych i wyników badań
- przeprowadzenie badań sensorycznych
- opracowanie wyników badań
- omówienie wyników

#### 3. Wykonanie ćwiczenia

Sposób przeprowadzenia ćwiczenia

Dla danych warunków termicznych i przy danej liczbie osób obecnych w pomieszczeniu:

1. - przeprowadzić badania sensoryczne dotyczące oceny wyczuwalnej jakości powietrza wewnętrznego po wejściu osób do pomieszczenia
2. - powtórzyć badania po określonym czasie przebywania osób w pomieszczeniu
3. - powtórzyć badania przy zmienionych warunkach termicznych i zmienionej liczbie osób w pomieszczeniu
4. - wyniki badań wpisać do zbiorczej tabeli

Przykładowe tabele wyników

Lp.	ACC			Warunki środowiska wewnętrznego		
	I	II	III	I	II	III
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Lp.	ACC			
	Zapełnienie sali	1/2	1	1/2
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

**4. Sprawozdanie z ćwiczenia**

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

- a. cel i zakres ćwiczenia
- b. krótki opis przebiegu ćwiczenia
- c. tabelkę wyników badań i obliczeń
- d. sposób opracowania wyników badań
- e. przykład obliczeń
- f. wykresy przedstawiające wyniki ocen wyczuwalnej jakości powietrza wewnętrznego w zależności od warunków termicznych, liczby osób i czasu ich przebywania w pomieszczeniu
- g. ocenę dokładności badań
- h. wnioski

## Zagadnienia

1. Natężenie emisji składników chemicznych z jednostkowej powierzchni
2. Intensywność wydzielania odoru z jednostkowej powierzchni
3. Krzywe zaniku emisji odoru i substancji chemicznych dla materiałów budowlanych, wykończeniowych, wykładzin
4. Emisja odoru
5. Stężenie zanieczyszczeń wyczuwanych przez ludzi
6. AKC, PD
7. Zależność wyczuwalnej jakości powietrza wewnętrznego od parametrów termicznych

## Przykłady pytań kontrolnych

1. Jaki są sposoby określania stężenia wyczuwalnych zanieczyszczeń ?
2. Podaj definicję Olfa
3. Scharakteryzuj jednostkę zanieczyszczeń zapachowych 1 decypol
4. Przedstaw sposób wyznaczania AKC i PD
5. Jaki wpływ mają parametry termiczne na wyczuwalną jakość powietrza wewnętrznego?
6. Jak zmienia się emisja zw. chemicznych z materiałów budowlanych w czasie?
7. Jak zmienia się emisja zw. chemicznych z materiałów budowlanych przy zmianie temperatury i wilgotności?

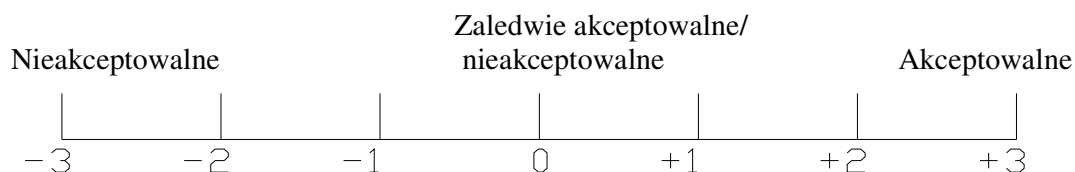
## Materiały pomocnicze

### PZYKŁADY OCEN

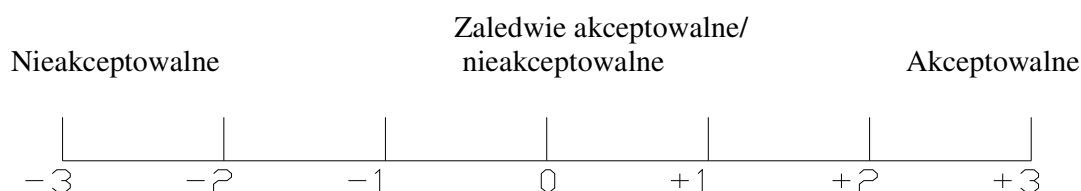
#### wyczuwalnej jakości powietrza wewnętrznego w badanym pomieszczeniu.

Na zaznaczonych osiach zaznaczyć odczucia badanych osób.

#### AKC (wyczuwalna jakość powietrza)



#### Warunki środowiska wewnętrznego



## ĆWICZENIE NR 9

### Badania ankietowe komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami oceny komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego oraz przeprowadzenie takich ocen wykorzystując wyniki badań ankietowych. Celem ćwiczenia jest również zbadanie, w jaki sposób wielkość pomieszczenia, sprawność działania wentylacji i liczba znajdujących się w nim osób wpływa na oceny komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego.

#### 2. Zakres ćwiczenia

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- przygotowanie pomieszczenia do przeprowadzenia badań ankietowych (ustalenie parametrów termicznych, liczby obecnych osób)
- przeprowadzenie badań ankietowych
- sporządzenie tabelki zbiorczej do wpisywania danych i wyników badań
- omówienie wyników

#### 3. Wykonanie ćwiczenia

Sposób przeprowadzenia ćwiczenia

Dla danych warunków termicznych i przy danej liczbie osób obecnych w pomieszczeniu:

1. - przeprowadzić badania ankietowe dotyczące oceny komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu
2. - powtórzyć badania przy zmienionych warunkach termicznych i zmienionej liczbie osób w pomieszczeniu
3. - wyniki badań wpisać do zbiorczej tabeli

#### 4. Sprawozdanie z ćwiczenia

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

- a. cel i zakres ćwiczenia
- b. krótki opis przebiegu ćwiczenia
- c. tabelkę wyników badań i obliczeń
- d. sposób opracowania wyników badań
- e. przykład obliczeń

- f. wykresy przedstawiające wyniki ocen komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego w zależności od warunków termicznych, liczby osób i czasu ich przebywania w pomieszczeniu
- g. ocenę dokładności badań
- h. wnioski

## Materiały pomocnicze

### Przykład ankiety

#### I DANE OGÓLNE.

1. Data: .....
2. Miejsce badania: .....
3. Wiek: .....
4. Płeć:                   kobieta            mężczyzna

#### II ELEMENTY POZATERMICZNE.

1. Proszę określić stopień zadowolenia z podanych zagadnień zgodnie z poniższą skalą:

- 6 - jestem bardzo zadowolony(a)
- 5 - jestem zadowolony(a)
- 4 - jestem trochę zadowolony(a)
- 3 - jestem trochę niezadowolony(a)
- 2 - jestem niezadowolony(a)
- 1 - jestem bardzo niezadowolony(a)

(proszę zakreślić jedną cyfrę dla każdego pytania)

- |  |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|
| 1. z rodzaju i poziomu dźwięków:             | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2. z oświetlenia:                            | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 3. z jakości powietrza:                      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 4. z koloru przegród:                        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 5. z wystroju pomieszczenia:                 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 6. z ilości dostępnej Panu/Pani przestrzeni: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7. z komfortu umebłowania (krzesła, biurka): | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 8. z wykonywanej pracy:                      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 9. z rodzaju i intensywności zapachów:       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

#### III ODZIEŻ.

1. Proszę zaznaczyć, w które części garderoby jest Pan/Pani obecnie ubrany(a):

Rajstopy	lekkie	<input type="checkbox"/>
	grube	<input type="checkbox"/>
Skarpety	lekkie	<input type="checkbox"/>
	grube	<input type="checkbox"/>
Bielizna	szorty	<input type="checkbox"/>
	stringi	<input type="checkbox"/>

	bokserki	<input type="checkbox"/>
	inne	<input type="checkbox"/>
	brak	<input type="checkbox"/>
Koszula	lekka z krótkimi rękawami	<input type="checkbox"/>
	lekka z długimi rękawami	<input type="checkbox"/>
	gruba z krótkimi rękawami	<input type="checkbox"/>
	gruba z długimi rękawami	<input type="checkbox"/>
Spódnica	mini	<input type="checkbox"/>
	długa	<input type="checkbox"/>
Sweter	lekki	<input type="checkbox"/>
	gruby	<input type="checkbox"/>
Spodnie	lekkie	<input type="checkbox"/>
	grube	<input type="checkbox"/>
Obuwie	letnie	<input type="checkbox"/>
	zimowe	<input type="checkbox"/>

#### IV CZYNNIKI POWODUJĄCE DYSKOMFORT CIEPLNY.

Proszę zaznaczyć, jak ocenia Pan/Pani:

1. *temperaturę powietrza:*

- 6 - gorące
- 5 - ciepłe
- 4 - lekko ciepłe
- 3 - lekko chłodne
- 2 - chłodne
- 1 - zimne

2. *ruch powietrza:*

- 6 - bardzo zadowolający
- 5 - umiarkowanie zadowolający
- 4 - lekko zadowolający
- 3 - lekko niezadowolający
- 2 - umiarkowanie niezadowolający
- 1 - bardzo niezadowolający

3. *wilgotność powietrza:*

- 6 - bardzo wilgotne
- 5 - umiarkowanie wilgotne
- 4 - lekko wilgotne
- 3 - lekko suche
- 2 - umiarkowanie suche
- 1 - bardzo suche

Proszę zaznaczyć, czy zgadza się Pan/Pani z poniższymi stwierdzeniami:

- 1. Odczuwam nadmierne nagrzanie sufitu: tak  nie
- 2. Odczuwam nadmierne nagrzanie ściany zewnętrznej: tak  nie
- 3. Odczuwam nadmierne oziębienie ściany zewnętrznej: tak  nie



- |  |     |                          |     |                          |
|--|-----|--------------------------|-----|--------------------------|
| 4. Odczuwam zbytne nasłonecznienie przez okno: | tak | <input type="checkbox"/> | nie | <input type="checkbox"/> |
| 5. Odczuwam zbytne oziębienie przez okno:      | tak | <input type="checkbox"/> | nie | <input type="checkbox"/> |
| 6. Odczuwam nadmierne oziębienie podłogi:      | tak | <input type="checkbox"/> | nie | <input type="checkbox"/> |
| 7. Odczuwam nadmierne nagrzanie podłogi:       | tak | <input type="checkbox"/> | nie | <input type="checkbox"/> |
| 8. W pomieszczeniu panują przeciągi:           | tak | <input type="checkbox"/> | nie | <input type="checkbox"/> |

## V KOMFORT CIEPLNY.

Proszę zaznaczyć jakie parametry środowiska należałoby Pana/Pani zdaniem zmienić:

- |                         |                          |           |                          |              |                          |
|-------------------------|--------------------------|-----------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| Powinno tu być: ciepłej | <input type="checkbox"/> | bez zmian | <input type="checkbox"/> | chłodniej    | <input type="checkbox"/> |
| mniej przewiewnie       | <input type="checkbox"/> | bez zmian | <input type="checkbox"/> | przewiewniej | <input type="checkbox"/> |
| bardziej sucho          | <input type="checkbox"/> | bez zmian | <input type="checkbox"/> | wilgotniej   | <input type="checkbox"/> |

Proszę zaznaczyć, które stwierdzenie najlepiej opisuje Pana/Pani odczucia cieplne:

- |                       |   |                          |
|-----------------------|---|--------------------------|
| Jest mi w tej chwili: | za zimno                                | <input type="checkbox"/> |
|                       | za chłodno                              | <input type="checkbox"/> |
|                       | przyjemnie chłodno                      | <input type="checkbox"/> |
|                       | przyjemnie (ani za ciepło ani za zimno) | <input type="checkbox"/> |
|                       | przyjemnie ciepło                       | <input type="checkbox"/> |
|                       | za ciepło                               | <input type="checkbox"/> |
|                       | za gorąco                               | <input type="checkbox"/> |

Czy ma Pan/Pani uwagi odnośnie mikroklimatu oraz warunków termicznych panujących w pomieszczeniu?

.....

.....

.....

### 1. Proszę określić stopień zadowolenia z podanych zagadnień zgodnie z poniższą skalą:

- |                                       |   |   |   |   |   |   |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| 1. z rodzaju i poziomu dźwięków       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2. z oświetlenia                      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 3. z jakości powietrza                | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 4. z koloru przegród                  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 5. z wystroju pomieszczenia           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 6. z ilości dostępnej przestrzeni     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7. z komfortu umeblowania             | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 8. z wykonywanej pracy                | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 9. z rodzaju i intensywności zapachów | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

6 - jestem bardzo zadowolony (a)

3 - jestem trochę niezadowolony (a)

5 - jestem zadowolony (a)

2 - jestem niezadowolony (a)

4 - jestem trochę zadowolony (a)

1 - jestem bardzo niezadowolony (a)

**2. Proszę zaznaczyć, w które części garderoby jest Pan / Pani obecnie ubrany (a):**

Rajstopy	lekkie grube	
Skarpety	lekkie grube	
Bielizna	lekka gruba	
Koszula	lekka z krótkimi rękawami lekka z długimi rękawami gruba z długimi rękawami gruba z krótkimi rękawami	
Spódnica	mini długa	
Sweter	lekki gruby	
Spodnie	lekkie grube	
Obuwie	letnie zimowe	

**3. Proszę zaznaczyć jak ocenia Pan / Pani:**

• *Temperaturę powietrza:*

- 6 - gorące
- 5 - ciepłe
- 4 - lekko ciepłe
- 3 - lekko chłodne
- 2 - chłodne
- 1 - zimne

• *Ruch powietrza:*

- 6 - bardzo zadowolający
- 5 - umiarkowanie zadowolający
- 4 - lekko zadowolający
- 3 - lekko niezadowolający
- 2 - umiarkowanie niezadowolający
- 1 - bardzo niezadowolający

• *Wilgotność powietrza:*

- 6 - bardzo wilgotne
- 5 - umiarkowanie wilgotne
- 4 - lekko wilgotne
- 3 - lekko suche
- 2 - umiarkowanie suche
- 1 - bardzo suche

**4. Proszę zaznaczyć czy zgadza się Pan / Pani z poniższymi stwierdzeniami:**

Odczuwam nadmierne nagrzanie sufitu	tak / nie
Odczuwam nadmierne nagrzanie ściany zewnętrznej	tak / nie
Odczuwam zbytne nasłonecznienie przez okno	tak / nie
Odczuwam zbytne oziębienie przez okno	tak / nie
Odczuwam nadmierne oziębienie podłogi	tak / nie
Odczuwam nadmierne nagrzanie podłogi	tak / nie
W pomieszczeniu panują przeciągi	tak / nie

**5. Proszę zaznaczyć, jakie parametry środowiska należałoby Pani / Pana zdaniem zmienić:**

Powinno tu być:

cieplej	<input type="checkbox"/>	bez zmian	<input type="checkbox"/>	chłodniej	<input type="checkbox"/>
mniej przewiewnie	<input type="checkbox"/>	bez zmian	<input type="checkbox"/>	przewiewniej	<input type="checkbox"/>
bardziej sucho	<input type="checkbox"/>	bez zmian	<input type="checkbox"/>	wilgotniej	<input type="checkbox"/>

**6. Proszę określić, które stwierdzenie najlepiej opisuje Pani / Pana odczucia ciepłne:**

Jest mi w tej chwili:

za zimno	<input type="checkbox"/>
za chłodno	<input type="checkbox"/>
przyjemnie chłodno	<input type="checkbox"/>
przyjemnie (ani za zimno, ani za chłodno)	<input type="checkbox"/>
przyjemnie ciepło	<input type="checkbox"/>
za ciepło	<input type="checkbox"/>
za gorąco	<input type="checkbox"/>

Czy ma Pan / Pani uwagi odnośnie mikroklimatu oraz warunków termicznych panujących w pomieszczeniu?

.....

.....

.....