

Daniel PACZESNY¹, Jerzy WEREMCZUK¹, Ryszard S. JACHOWICZ¹, Piotr RAPIEJKO², Dariusz JURKIEWICZ²

¹ POLITECHNIKA WARSZAWSKA, INSTYTUT SYSTEMÓW ELEKTRONICZNYCH

² WOJSKOWY INSTYTUT MEDYCZNY, KLINIKA OTOLARYNGOLOGII

Szybki higrometr punktu rosy do badań laryngologicznych – ocena nawilżającej i ogrzewającej funkcji nosa

Daniel PACZESNY

Absolwent Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej. Studia na kierunku Telekomunikacja, specjalność Radiokomunikacja i Techniki Multimedialne ukończył w 2003 r. Aktualnie prowadzi prace dotyczące rozprawy doktorskiej w zakresie elektroniki w Instytucie Systemów Elektronicznych, WEIT, PW. Zainteresowania naukowe dotyczą pomiaru wilgotności i temperatury w medycynie, systemów mikroprocesorowych, łączności bezprzewodowej, statystycznych metod analizy.



e-mail: dpaczesn@elka.pw.edu.pl

Streszczenie

Medycyna potrzebuje ciągle nowych, zaawansowanych narzędzi do lepszej diagnozy schorzeń. Duży postęp w dziedzinie elektroniki pozwala na konstruowanie coraz bardziej złożonych przyrządów do oceny stanów zdrowotnych człowieka. Jedną z funkcji nosa jest ogrzanie i odpowiednie nawilżenie powietrza dostającego się do krtani i płuc oraz odzyskanie części wilgoci i ciepła z powietrza wydychanego przez nos. W pracy przedstawiono higrometr punktu rosy, w którym wykorzystano specjalnie zaprojektowany półprzewodnikowy mikrosystem. Przenośny system pomiarowy został zaprojektowany i zbudowany do pomiaru szybkich zmian wilgotności powietrza w górnych drogach oddechowych. Przedstawiono wskaźniki charakteryzujące funkcję nawilżania powietrza wpadającego do płuc oraz funkcję odzyskiwania wilgoci z powietrza wydychanego. Wyniki z trwających badań klinicznych będą wykorzystane do poszukiwania korelacji pomiędzy wskaźnikami a schorzeniami górnych dróg oddechowych.

Słowa kluczowe: pomiar wilgotności, funkcje nosa, higrometr punktu rosy

Fast dew point hygrometer for laryngological application – assessment of both humidifying and heating functions of human nose

Abstract

The medicine still requires new, more advanced tools for better human body diagnoses. The great developments in electronics allow to construct more and more sophisticated instruments for tests of human body functionality. There are two most important functions: heating and humidifying to optimal level of reaching throat and lungs air and partly absorption of humidity and heat from expired air. The paper presents the dew point hygrometer based on a semiconductor microsystem structure gathering impedance detector, heater and thermoresistor. The portable measurement system was specially designed and fabricated for laryngological applications. The hygrometer can measure dynamic changes of dew point temperature which is the absolute unit of humidity. New factors describing condition and capability of human breathing system are proposed. During ongoing clinical tests, still increasing amount of data will allow precisely investigate correlations between humidifying process and some diseases.

Keywords: humidification, nasal air conditioning, dew point hygrometer

1. Wstęp

Zaburzenia procesów nawilżania i ogrzewania wdychanego powietrza, mogą stać się przyczyną wielu schorzeń układu oddechowego. Znajomość procesów fizjologicznych, zachodzących w różnych odcinkach dróg oddechowych, może być bardzo przydatna do poznania przyczyn wielu schorzeń dróg oddechowych [1, 2, 3, 4, 5] oraz do oceny stanu błony śluzowej nosa w chorobach ogólnoustrojowych [6, 7]. Uzyskana wiedza wpływa na diagnostykę i leczenie schorzeń laryngologicznych. Do oceny nawilżającej i ogrzewającej funkcji jamy nosa niezbędne okazało się skonstruowanie systemu pomiarowego pozwalającego na rejestrację dynamicznych zmian wilgotności oraz temperatury powietrza w przewodach nosowych, nosogardle i gardle.

Dostępne na rynku przyrządy do pomiaru wilgotności w tym higrometry punktu rosy lub inne czujniki sorpcyjne nie są przystosowane do pomiarów laryngologicznych. Wśród innych parametrów, są zbyt wolne, żeby nadążyć za szybkimi zmianami wilgotności przepływającego powietrza. Czas odpowiedzi komercyjne dostępne przyrządy oparte na czujnikach sorpcyjnych jest rzędu kilkunastu sekund i więcej. Dlatego skonstruowano specjalny system pomiarowy o krótkim czasie odpowiedzi.

W artykule przedstawiono higrometr punktu rosy przeznaczony do dynamicznych pomiarów wilgotności w jamach nosa i gardle człowieka. Dzięki specjalnej konstrukcji detektora i zaimplementowaniu algorytmu kontroli transportu ciepła na powierzchni czujnika [8] uzyskano szybką pracę przyrządu (do pięciu detekcji na sekundę). Pozwala to na śledzenie zmian wilgotności w czasie oddychania. Część przyrządu, która ma bezpośredni kontakt z pacjentem podlega demontażowi i sterylizacji. System jest łatwy w obsłudze, przenośny, bezpieczny dla osoby badanej jak i dla operatora. Higrometr punktu rosy współpracuje z aplikacją komputerową zarządzającą danymi pomiarowymi. Aplikacja ma przejrzysty interfejs użytkownika, zapewniający bezproblemową pracę z systemem.

W celu oceny funkcji nosa: ogrzewającej i nawilżającej konieczna jest parametryzacja otrzymanych rezultatów w czasie badania pacjenta. W pracy przedstawiono konstrukcję systemu pomiarowego, wskaźniki charakteryzujące funkcje nosa oraz przykładowe wyniki pomiarowe.

2. Idea pomiaru temperatury punktu rosy

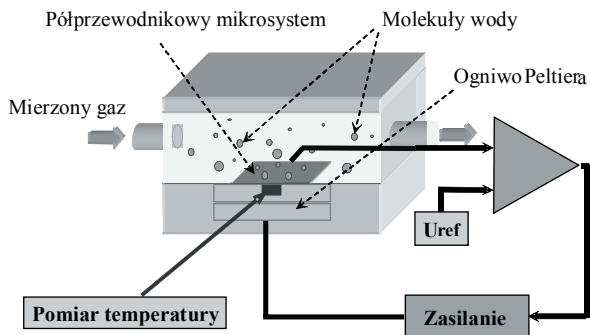
Metoda pomiaru temperatury punktu rosy jest najdokładniejszą metodą techniczną pomiaru wilgotności gazu. Zasadę działania higrometru punktu rosy przedstawiono na Rys. 1. Mierzony gaz przepływa przez izolowaną termicznie, głowicę pomiarową nad impedancyjnym detektorem punktu rosy. Detektor umieszczony jest na ogniwie Peltiera, w celu regulacji jego temperatury. W czasie procesu chłodzenia detektora, dla temperatury nazwanej temperaturą punktu rosy T_{dp} (ang. dew point temperature), na powierzchni detektora następuje kondensacja pary wodnej. Temperatura punktu rosy jest bezwzględną miarą wilgotności gazu.

W przedstawionym systemie pomiarowym jako detektor punktu rosy wykorzystano specjalnie zaprojektowany i wykonany

mikrosystem. Jest to zintegrowana struktura półprzewodnikowa, zawierająca detektor kondensującej pary wodnej, grzejnik do szybkiego podgrzania struktury oraz termorezystor do pomiaru temperatury. Struktura półprzewodnikowa składa się z dwóch warstw metalizacji zrealizowanych na podłożu krzemowym [9]. Na poziomie dolnym znajduje się grzejnik oraz termorezystor wykonany ze złota. Grubości warstwy wynosi 0,4 μ m. Na poziomie górnym (powierzchnia czynna detektora) naniesiono elektrody (struktura międzypalczysta) do detekcji pary wodnej. Warstwę detektora również wykonano ze złota. Szerokość elektrod oraz odstęp pomiędzy nimi wynosi 6 μ m. Grubości warstwy wynosi 0,16 μ m. Dielektryk oddzielający warstwy metalizacji składa się z SiO₂ i Si₃N₄.

Wymiar zewnętrzny struktury półprzewodnikowej wynosi 4x4mm. Struktura została zamontowana w elastycznej obudowie PCB wykorzystując technologię montażu flip-chip z zabezpieczeniem antykorozyjnym kontaktów. Struktura w obudowie jest instalowana w głowicy i bezpośrednio podłączana do systemu mikroprocesorowego.

Warstwa zawierająca wyżej wymienione elementy nie przekracza 1 μ m. Wykorzystując specjalny algorytm sterowania elementami zintegrowanej struktury uzyskano szybką odpowiedź systemu na zmianę wilgotności.



Rys. 1. Zasada działania higrometru punktu rosy
Fig. 1. Principle of operation of dew point hygrometer

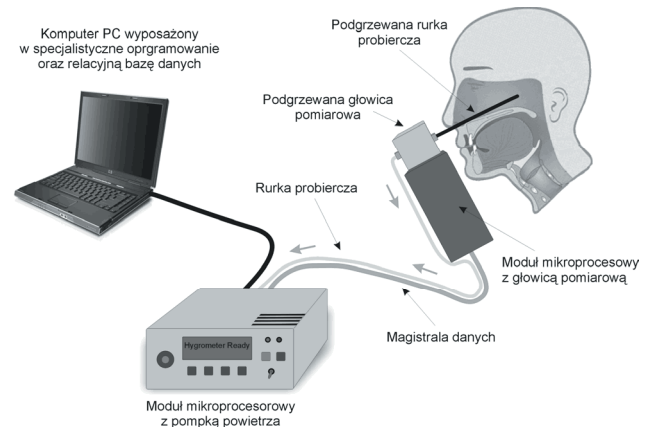
Napięcie mierzone na detektorze porównywane jest z ustalonym doświadczalnie napięciem referencyjnym U_{ref} (progiem detekcji). System sterownia zwiększa lub zmniejsza moc ogniwa Pelteira (chłodzenie) i grzejnika (grzanie), dostosowując ciągle temperaturę detektora (pomiar termorezystorem) do temperatury punktu rosy mierzonego gazu. Temperatura mierzona w chwili, gdy napięcie na detektorze jest równe napięciu referencyjnemu U_{ref} jest temperaturą punktu rosy. Zastosowanie zintegrowanej grzałki umożliwia bardzo szybkie odparowanie pary wodnej (wzrost impedancji detektora), po czym cykl chłodzenia jest powtarzany. Podobne cykle temperaturowe można by osiągnąć za pomocą samego ogniwa Pelteira jednak szybkości byłyby mniejsze ze względu na dużą bezwładność cieplną ogniwa.

3. System pomiarowy

W skład systemu wchodzi: głowica pomiarowa higrometru punktu rosy sterowana mikroprocesorem, zestaw wymiennych elastycznych rurek do pobierania wdychanego i wydychanego powietrza, główny moduł mikroprocesorowy z miniaturową pompką powietrza oraz opcjonalnie komputer przenośny z dedykowaną aplikacją komputerową (Rys. 2).

Rurka probiercza (wkładana pacjentowi do nosa lub gardła) oraz głowica pomiarowa są podgrzewane do temperatury wyższej (około 40°C) niż maksymalna mierzona temperatura punktu rosy (około 37°C). Zapobiega to kondensacji pary wodnej na wewnętrznych ściankach komory i rurki probierczej. Długość rurki wynosi ponad 13cm a średnica zewnętrzna niecałe 4mm.

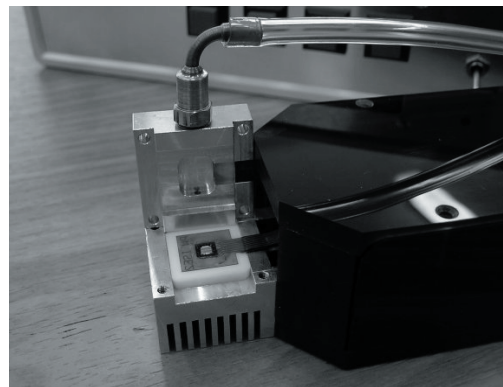
Wymiary rurki pozwalają na przeprowadzenie badania u większości dorosłych pacjentów.



Rys. 2. Idea systemu do pomiaru zmian wilgotności powietrza
Fig. 2. General idea of the system for humidity changes measurements

Pacjent przed pomiarem jest aklimatyzowany przez kilkanaście minut w pomieszczeniu, w którym odbywa się badanie. Następnie podlega konsultacji laryngologicznej. Badanie jest całkowicie bezpieczne dla pacjenta, jednak czasami może powodować dyskomfort. Powietrze jest pobierane w sposób ciągły z określonego miejsca nosa lub gardła. Szybkość przepływu powietrza pobieranego przez system jest stała. Istnieje możliwość regulacji przepływu od 1[l/h] do 30[l/h]. Ze względu na bezpośredni kontakt z błoną śluzową dróg oddechowych rurka jest wymieniana po każdym badaniu i podlega sterylizacji.

Głowica została wykonana z aluminium. Podzielona jest na dwie części. Górna część, zawiera komorę pomiarową, która wraz z rurką probierczą powinna mieć jak najmniejszą objętość, w celu szybkiej wymiany powietrza (0.20cm³). Dolna część, stanowi radiator dla ogniwa Pelteira (Rys. 3). Temperatura obu części głowicy jest mierzona przez dwa miniaturowe termistory podłączone do systemu mikroprocesorowego.



Rys. 3. Otwarta głowica pomiarowa ze strukturą półprzewodnikową detektora.
Fig. 3. Open measurement chamber with dew point detector.

W module mikroprocesorowym, zintegrowanym z głowicą pomiarową zaimplementowany jest algorytm pomiarowy. Sterowanie układami elektronicznymi realizowane jest w sposób niezależny i sekwencyjny. Regulacja mocy ogniwa Pelteira oraz interfejs użytkownika zostały zaimplementowane w drugim module mikroprocesorowym. Higrometr można podłączyć do komputera przez łącze szeregowo.

Aplikacja komputerowa [10] zarządzająca danymi pomiarowymi cechuje się łatwością obsługi. Aplikacja została zaprojektowana z myślą o zastosowaniu systemu w środowisku medycznym, dlatego duży nacisk położono na funkcjonalność. Pod względem użytkowym nie odbiega od komercyjnych aplikacji obsługujących systemy diagnostyki medycznej.

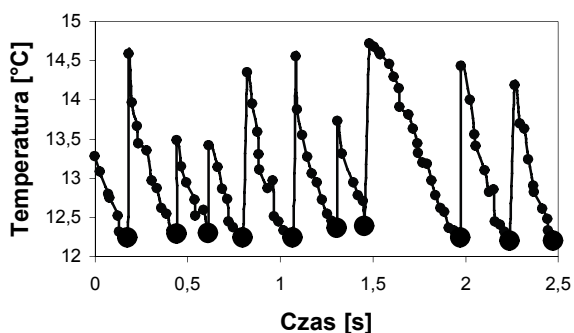
Podzielona została na trzy moduły: archiwizacji danych pomiarowych, analizy danych pomiarowych i modułu statystycznego. Rozwiązanie takie pozwala na komfortowe posługiwanie się systemem w czasie pomiaru jak i w dalszej kolejności analizą zgromadzonych danych pomiarowych.

Dodatkowo został skonstruowany termometr elektroniczny [11] do pomiaru temperatury powietrza przepływającego przez jamy nosa. Pomiar temperatury powietrza z punktu widzenia laryngologii i diagnostyki jest bardzo interesujący sam w sobie.

W przypadku oceny funkcji nosa mierzona temperatura jest wykorzystywana do wyznaczenia parametru charakteryzującego poziom nawilżania powietrza wpadającego do płuc.

4. Charakterystyka systemu pomiarowego

Na Rys. 4 przedstawiono przykład zmian temperatury powierzchni struktury w czasie normalnego działania mierzącego stabilną wilgotność (4 detekcje na sekundę, wartość średnia temperatury punktu rosy - $T_{dp_mean}=12.3^{\circ}\text{C}$ i odchylenie standardowe od wartości średniej - $\sigma=0,06^{\circ}\text{C}$). Duże kropki na wykresie oznaczają detekcję rosy, dla której mierzona jest temperatura. Dla stabilnego przepływu powietrza można otrzymać do kilku detekcji na sekundę. Wartość ta zależy od poziomu mierzonej wilgotności.



Rys. 4. Zmiany temperatury struktury w czasie normalnego działania
Fig. 4. The detector surface temperature variation during the regular operation

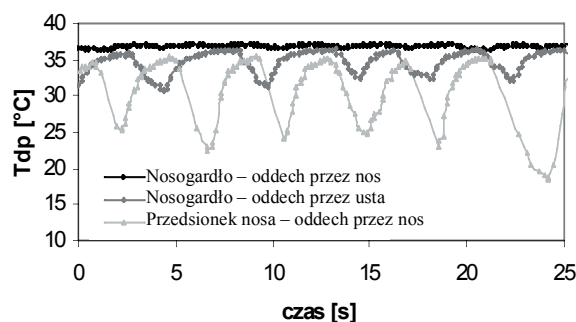
W celu określenia parametrów dynamicznych zbudowano specjalne stanowisko pomiarowe do generacji skokowej zmiany wilgotności. Czas zamiany torów generujących skok wilgotności wynosi 30ms. Zmierzona szybkość narastania temperatury struktury wynosi 11K/s a szybkość opadania temperatury 5K/s. Urządzenie działa w zakresie 273K – 313K (0°C - 40°C) temperatur punktu rosy, mierząc wilgotność z niedokładnością do $\pm 0.5\text{K}$. Otrzymane parametry są wystarczające do zastosowania przyrządu w pomiarach rynologicznych.

5. Analiza danych pomiarowych

W wyniku pomiaru temperatury punktu rosy (wilgotności) i temperatury powietrza otrzymano przebieg periodyczny (Rys. 5). Jeżeli badanie jest wykonywane w przedsionku nosa to maksima przebiegu odpowiadają wilgotności powietrza wydychanego przez nos a minima oznaczają wilgotność powietrza wdychanego. Do wyznaczenia tych dwóch wartości wystarczy jeden okres przebiegu. Jednak do obliczeń wykorzystywanych jest kilka okresów przebiegu (od 6 do 8), gdzie wyznaczane są wartości średnie (maksima i minima przebiegu). Podobnie jest dla pomiaru temperatury powietrza.

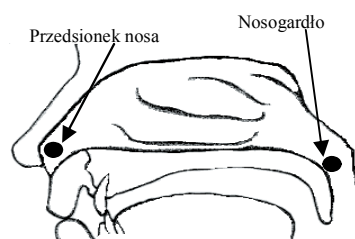
Pomiar wilgotności jak i temperatury był wykonywany w dwóch miejscach: w przedsionku nosa i nosogardle (Rys 6). Pozwala to na wyznaczenie zawartości pary wodnej w tych miejscach pomiarowych. Różnica otrzymanych wyników wyznacza poszukiwane wskaźniki (ang. *water gradient-WG*).

Pierwszy wskaźnik (WG_{o_i}) jest określany jako różnica zawartości pary wodnej dla powietrza wdychanego mierzonego w nosogardle i przedsionku nosa. Charakteryzuje zdolność nosa do nawilżania powietrza wpadającego do płuc. Drugi wskaźnik (WG_{o_e}) jest określany jako różnica zawartości pary wodnej dla powietrza wydychanego mierzonego w przedsionku nosa i nosogardle. Charakteryzuje zdolność nosa do odzyskiwania wilgoci z powietrza wydychanego z płuc. Analogiczne wskaźniki, opisujące zdolność nosa do odbierania i oddawania ciepła, można zdefiniować dla temperatury powietrza wdychanego i wydychanego. Są to główne parametry charakteryzujące nawilżającą i ogrzewającą funkcję nosa oraz zdolność nosa do odbierania wilgoci i ciepła z powietrza wydychanego.



Rys. 5. Przykładowe przebiegi pomiarowe temperatury punktu rosy
Fig. 5. Example measurement plots of dew point temperature

Współczesne czujniki wilgotności lub przyrządy pomiarowe oparte o czujniki sorpcyjne (mierzona jest wilgotność względna RH wyrażona w procentach) pracują w ograniczonym zakresie pomiarowym (od 5 do 95% RH) i co ważne nie mogą pracować w warunkach kondensacji pary wodnej. W pomiarach laryngologicznych kondensacja pary wodnej występuje, jeśli temperatura otoczenia jest mniejsza od temperatury ciała pacjenta (około 37°C). Posługując się wilgotnością względną nie można wyznaczyć wskaźników charakteryzujących funkcje nosa (odejmowanie wilgotności względnych daje błędne wyniki oraz utrudnia interpretację) bez wiedzy o temperaturze powietrza. Dodatkowo, relatywnie długi czas odpowiedzi powoduje, że przyrządów takich nie można bezpośrednio wykorzystać do pomiarów laryngologicznych (konieczna jest modyfikacja konstrukcyjna przyrządu). Dlatego uzasadnione jest wykorzystanie metody pomiarowej (pomiar temperatury punktu rosy, odpowiada ilości molekuł wody w gazie) gdzie zawartość pary wodnej jest określana w sposób bezpośredni.



Rys. 6. Miejsca pomiarów wilgotności i temperatury
Fig. 6. Location of the humidity and temperature measurements

6. Przykładowe wyniki badań

W celu prezentacji wyników badań należy przedstawić zależności opisujące zawartość pary wodnej w gazie. Do przeprowadzenia obliczeń wykorzystano równanie gazu doskonałego:

$$pV = nRT \quad (1)$$

Przyjmując masę molową wody $m_w=18,016$ [g/mol], masę molową suchego powietrza $m_d=28,966$ [g/mol], ciśnienie atmosferyczne $p=101325$ [Pa], uniwersalną stałą gazową $R=8,3145$ [J/molK] oraz formułę Sontag'a [12] opisującą ciśnienie cząstkowe pary wodnej (wykorzystano temperaturę punktu rosy do obliczeń ciśnienia cząstkowego pary wodnej).

Do wyznaczenia wskaźników wykorzystano wilgotność bezwzględną objętościową. Jest to masa pary wodnej m_w przypadająca na jednostkę objętości V wilgotnego gazu (wyznaczono przekształcając wzór (1) i podstawiając m_v oraz R).

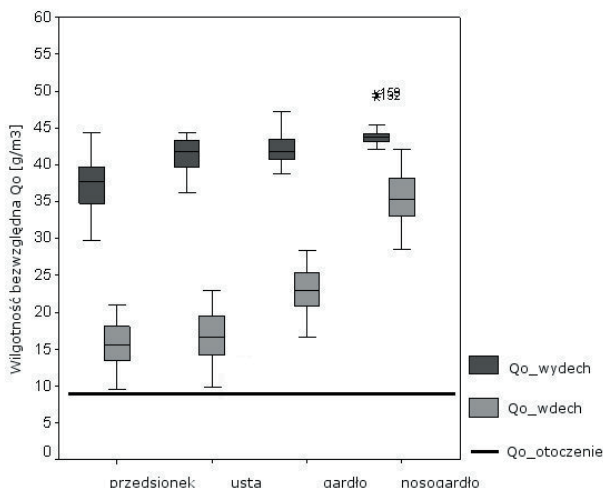
$$\Phi_o = \frac{m_w}{V} \left[\frac{g}{m^3} \right] \quad (2)$$

Można wykorzystać wilgotność bezwzględną wagową (jeśli nie dokonano pomiaru temperatury powietrza). Jest to masa pary wodnej m_w przypadająca na masę suchego gazu m_g (wyznaczono przekształcając wzór (1) dla pary wodnej i suchego gazu, podstawiając m_v , m_d oraz R).

$$\Phi_w = \frac{m_w}{m_g} \left[\frac{g}{kg} \right] \quad (3)$$

We wzorach obliczeniowych (1) występuje ciśnienie powietrza. Z badań rynomanometrycznych wiadomo, że ciśnienie w czasie procesu oddychania zmienia się w jamach nosa w zakresie 1[kpa], jednak można założyć, że w końcowej fazie wdechu czy wydechu, (dla której jest uśredniany wynik wilgotności i temperatury z przebiegu czasowego) jest ono takie same jak w otoczeniu. Dlatego przyjęto do obliczeń ciśnienie normalne $p=101325$ [Pa].

Takie ujęcie problemu pozwala na odejmowanie od siebie obliczonych parametrów, tworząc wspomniane wyżej wskaźniki. Wilgotność bezwzględna objętościowa Φ_o wymaga do obliczeń dodatkowo pomiaru temperatury powietrza w tych samych miejscach gdzie wykonano pomiar temperatury punktu rosy. Otrzymany wynik WGo_i lub WGo_e jest wyrażany w gramach lub miligramach wody na jednostkę objętości - [g/m³] lub [mg/l]. Wilgotność bezwzględna wagowa Φ_w wymaga tylko pomiaru temperatury punktu rosy i tak otrzymany parametr WGw_i lub WGw_e jest wyrażany w gramach wody na kilogram suchego powietrza - [g/kg]. Do prezentacji wyników wykorzystano wilgotność względną objętościową WGo_i i WGo_e .



Rys. 7. Wilgotność bezwzględna objętościowa Q_o dla różnych miejsc badania
Fig. 7. Absolute humidity Q_o measured in different places

Wykonano ponad 100 pomiarów dla pacjentów w różnym wieku, zdrowych i z różnymi patologiami przebywających w podobnych warunkach zewnętrznych. Rozkład wyników dla pomiarów w przedsielonku nosa, na wysokości otwartych ust, gardle (oddech przez usta, nos wyłączony z procesu oddychania) i nosogardle zaprezentowano na Rys. 7. Dla każdego miejsca pomiarowego podana jest mediana, 50% obserwacji (zaciemniony obszar prostokątny) oraz wartości skrajne: minimalne i

maksymalne. Dla typowych warunków zewnętrznych nos nawilża powietrze wdychane średnio $WGo_i \approx 25$ [g/m³] i odzyskuje średnio $WGo_e \approx 6$ [g/m³] wilgoci. Przyjmując średnią objętość powietrza wydychanego w ciągu 1 minuty równą 10 [l/min] [13] wyznaczamy nawilżanie powietrza wpadającego do płuc - 250 [mg/l] i odzysk wilgoci - 60 [mg/l]. Odejmując od siebie obie te wartości otrzymujemy średnią ilość traconej pary wodnej (wody) przez nos równą 190 [mg/l]. Otrzymany wynik jest zgodny z [13] gdzie przebadano mniejszą liczbę pacjentów, wykorzystując innego rodzaju aparaturę pomiarową, również specjalnie przygotowaną do tego typu badań.

7. Podsumowanie

W pracy przedstawiono higrometr punktu rosy specjalnie zaprojektowany i wykonany do badania zmian wilgotności powietrza wdychanego i wydychanego w różnych częściach nosa. Przedstawiono przykładowe wyniki charakteryzujące funkcję nawilżania powietrza wpływającego do płuc oraz funkcję odzyskiwania wilgoci z powietrza wydychanego. Uzyskane wyniki są zgodne z prezentowanymi w literaturze otrzymanymi przy pomocy innych przyrządów. W przypadku wyznaczenia korelacji wyników pomiaru wilgotności z schorzeniami górnych dróg oddechowych lub stanami po zastosowaniu różnych leków farmakologicznych, opracowany system pomiarowy może spełniać funkcję diagnostyczną w codziennej pracy lekarza laryngologa.

8. Literatura

- [1] Abbott D.J., Baroody F.M., Naureckas E., et al.: Elevation of nasal mucosal temperature increases the ability of the nose to warm and humidify air. Am. J. Rhinol., 2001, 15, 41-45.
- [2] Cramer I.I.: Heat and moisture exchange of respiratory mucous membrane. Ann. Otol. Rhinol. Laryngol., 1957, 2, 327-343.
- [3] Gotlib T., Samoliński B., Arcimowicz M.: Spontaniczne zmiany drożności nosa, cykl nosowy – klasyfikacje, częstość występowania, znaczenie kliniczne. Otolaryng. Pol., 2002, 4, 421-425.
- [4] Kierzek. A.: Badanie jamy nosowo-gardłowej w drugiej połowie XIX wieku. Otolaryng. Pol., 2003, 3, 361-364.
- [5] Rapijko P., Wojdas A., Wawrzyniak Z. et al.: Rhinomanometry in nasal cavity respiratory resistance measurement. Proc. of SPIE, 2005, 5775, 466-474.
- [6] Joynt G.M., Lipman J.: Humidification in intensive care. S. Afr. J. Surg., 1994, 32, 23-30.
- [7] Muller M., Betlejewski S.: Stan błony śluzowej nosa u chorych na cukrzycę. Otolaryng. Pol., 2003, 3, 361-364.
- [8] Jachowicz R.: Dew point hygrometer with heat injection. Principle of Construction and Operation. Sensors and Actuators, Elsevier Seq., Vol. 7, No.1 3, 1992, 455-459.
- [9] Tarapata G., Jachowicz R., J. Weremczuk, Paczesny D.: Konstrukcja półprzewodnikowego detektora punktu rosy w zastosowaniach dermatologicznych i laryngologicznych. VIII Konferencja Naukowa – Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne COE2004; Wrocław, 27-30 czerwca 2004; 9-12.
- [10] Paczesny D., Kuls M., Tarapata G.: Diagnostic system with database application for laryngological and dermatological disorders. XVI IEEE-SPIE Symposium of Photonics, Electronics and Web Engineering, Wilga, Poland, 30 maja – 5 czerwca, 2005, Proceedings of SPIE, Vol 2, 615941-1 – 8.
- [11] Paczesny D., Rapijko P., Weremczuk J. et al.: Badanie procesu stabilizacji temperatury w górnych drogach oddechowych za pomocą miniaturowego termometru elektronicznego. Pol. Merkuriusz Lek., 2005, 111, 323-326.
- [12] Sonntag D.: Important new values of the physical Constant of 1986 vapour pressure formulations based on the ITS-90 and psychometer formula, Z. Meteorol., 1990.
- [13] Randerath W.J., Meier J., Genger H., at all.: Efficiency of cold passover and heated humidification under continuous positive airway pressure. Eur Respir J 2002; 20: 183-186.