

Wilgotność powietrza – teoria i praktyka

GRZEGORZ CIAŁOŃ

Ukończył studia na Politechnice Śląskiej w Gliwicach, na Wydziale Elektrycznym. W Introlu pracuje od 2006 roku, obecnie jest kierownikiem działu komponentów automatyki. Zajmuje się głównie doborem urządzeń pomiarowych w systemach HVAC oraz do regulacji i rejestracji procesów.

tel: 32 789 00 18

Wilgotność względna to prawdopodobnie druga po temperaturze wielkość fizyczna, z którą mamy do czynienia na co dzień zarówno w domu, jak i w życiu zawodowym. Co to za parametr i jakie są jego główne cechy? Postaramy się odpowiedzieć na te podstawowe kwestie związane z wilgotnością powietrza.

W teorii wilgotność względna jest definiowana jako stosunek pomiędzy aktualnym ciśnieniem parcyjnym pary wodnej (e'), a ciśnieniem nasycenia pary wodnej (e_w') w danej temperaturze. Wyrażana jest najczęściej w procentach, gdzie zero % oznacza powietrze całkowicie suche, a 100% całkowicie nasycone parą wodną.

to ciśnienie wywołwane przez azot, 210 mbar przez tlen, 10 mbar to ciśnienie pary wodnej (e) oraz pozostałe 10 mbar to suma pozostałych składników.



CZYM JEST CIŚNIENIE PARCYJNE PARY WODNEJ (e')?

Zgodnie z teorią Daltona, całkowite ciśnienie mieszaniny gazów jest sumą ciśnień poszczególnych jego składników. Na 1000 mbar przeciętnego ciśnienia atmosferycznego 770 mbar



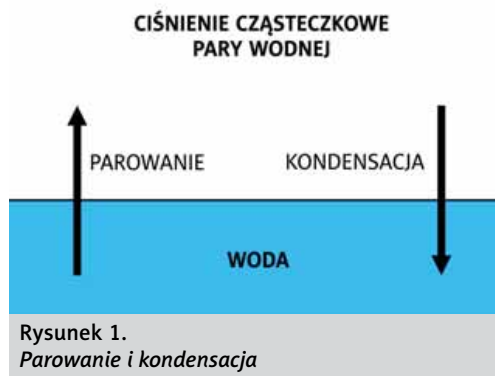
CZYM JEST CIŚNIENIE NASYCENIA PARY WODNEJ (e_w')?

W zamkniętej objętości wody i powietrza istnieje równowaga pomiędzy parowaniem, a kondensacją. Tym samym powietrze jest nasycone i zawiera maksymalną możliwą ilość pary wodnej. Ciśnienie nasycenia pary wodnej (e_w') to wartość maksymalna ciśnienia jaka wystąpi w tym gazie w danej temperaturze.

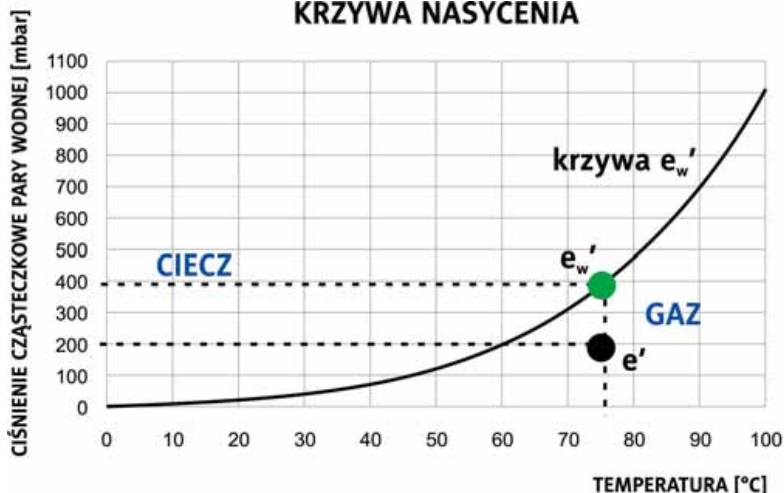
Ciśnienie pary nasyconej zależy od ciśnienia i temperatury i jest opisane przez krzywą wykładniczą (rysunek 2).

Wilgotność względna nie informuje więc ile wody rozpuszczonej jest w gazie. Informuje jedynie jak daleko mamy do nasycenia. Ta sama ilość wody może mieć różny udział w wilgotności względnej. Zależy to od temperatury i ciśnienia (rysunek 3).

O bezwzględnej ilości wody informują inne parametry związane z wilgotnością, takie jak stosunek zmieszania czy wilgotność bezwzględna.



KRZYWA NASYCENIA



Rysunek 2. Wilgotność względna. Wyliczenia wg krzywej nasycenia

Wilgotność względna wyrażona w %

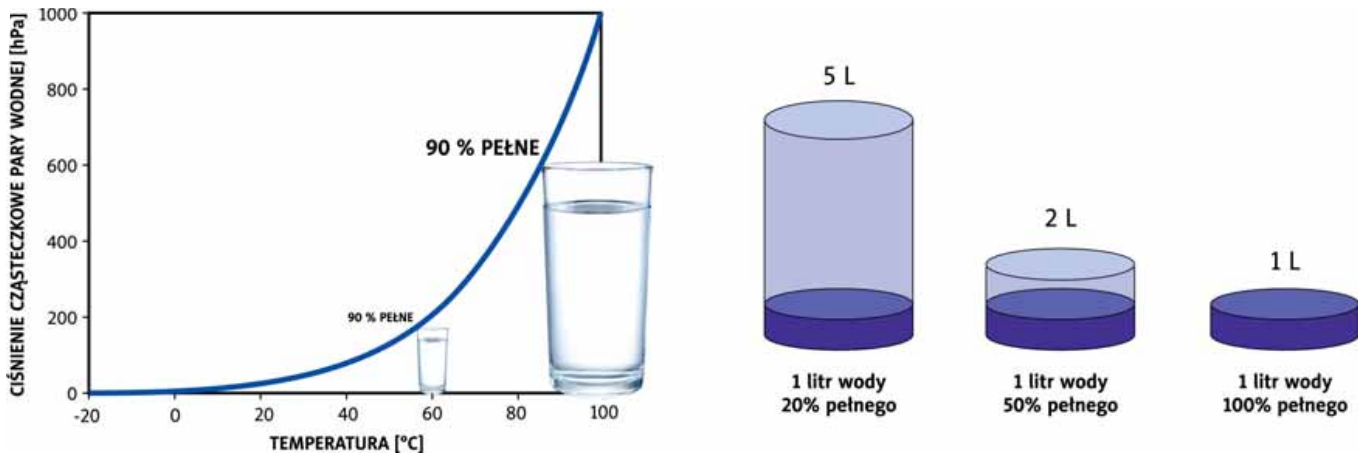
$$RH\% = \frac{e'}{e_w'(t)} * 100$$

Przykład z wykresu dla 75°C

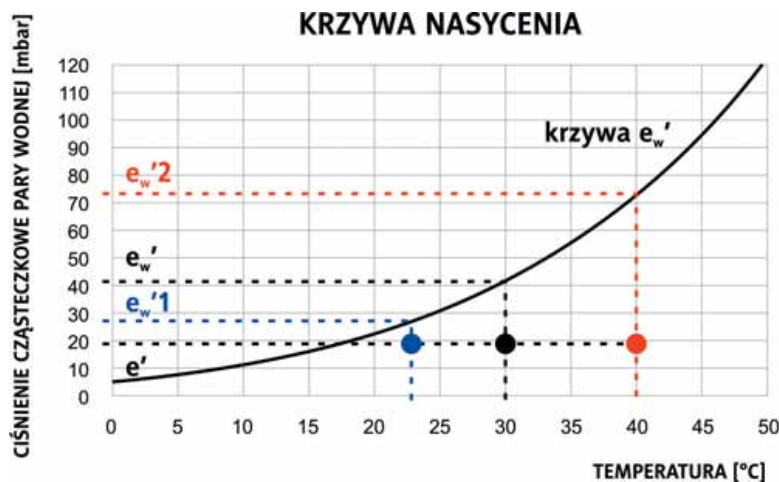
$$e' = 200 \text{ mbar}$$

$$e_w' = 400 \text{ mbar}$$

$$\frac{200 \text{ mbar}}{400 \text{ mbar}} * 100 = 50\%$$



Rysunek 3.
Graficzne zobrazowanie wilgotności względnej



T	RH
ROŚNIE	MALEJE
MALEJE	ROŚNIE

PRZYKŁAD Z WYKRESU:

$$RH(23\text{ }^{\circ}\text{C}) = \frac{e'}{e_w'} \cdot 100 = \frac{20\text{ mbar}}{28\text{ mbar}} \cdot 100 = 71\%$$

$$RH(30\text{ }^{\circ}\text{C}) = \frac{e'}{e_w'} \cdot 100 = \frac{20\text{ mbar}}{42\text{ mbar}} \cdot 100 = 47\%$$

$$RH(40\text{ }^{\circ}\text{C}) = \frac{e'}{e_w'} \cdot 100 = \frac{20\text{ mbar}}{74\text{ mbar}} \cdot 100 = 27\%$$

Rysunek 4.
Wpływ temperatury na wilgotność względną

Stosunek e'/e_w' zmienia się wraz ze zmianą temperatury. W praktyce gaz o większej temperaturze posiada większą energię cząsteczek, drgania cząsteczek są większe i przemieszczają się dalej od siebie, co utrudnia łączenie. Zmniejszenie temperatury powoduje mniejszy ruch cząstek, poruszają się wolniej bliżej siebie, co z kolei ułatwia ich łączenie.

Tak więc wzrost temperatury medium będzie powodował zmniejszenie wskaźnika wilgotności względnej, natomiast spadek temperatury – wzrost wilgotności względnej. Ten wzrost dąży do wartości 100%, a temperatura, przy której osiąga 100% nazywana jest temperaturą punktu rosy. Para wodna przechodzi przez krzywą nasyceń i zmienia stan skupienia z gazu na ciecz.

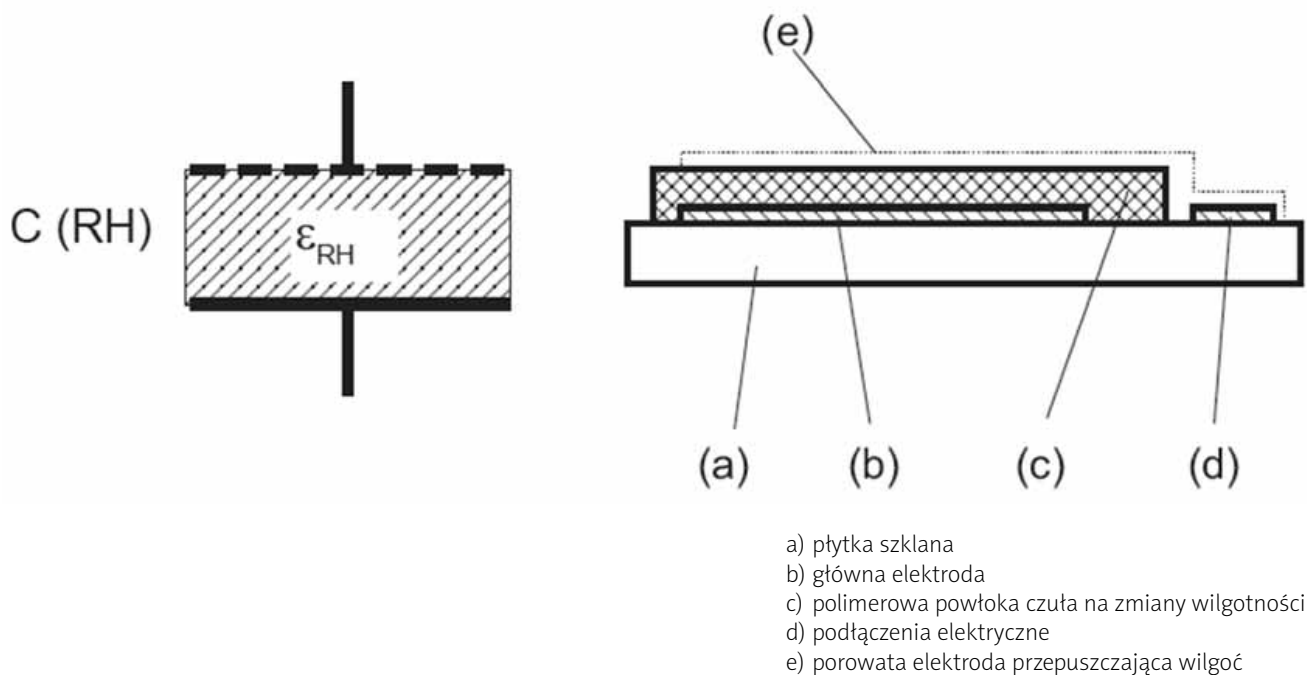
wane jest w specyfikacji gazów technicznych, definiując w ten sposób jego suchość. Parametr ten jest także często stosowany w układach regulacji wilgotności i temperatury, gdy istnieje potrzeba bardzo precyzyjnego ustawienia tych parametrów.

Wyobraźmy sobie pomieszczenie, w którym od układu klimatyzacji i wentylacji wymaga się utrzymania tych parametrów na stałym poziomie. Naturalne oscylacje temperatury będą automatycznie przekładały się na zmiany wilgotności względnej. Jeżeli więc spadkowi temperatury towarzyszy wzrost wilgotności, to układ regulacji wilgotności rozpozna to jako konieczność osuszania powietrza, co najczęściej sprowadza się do podniesienia jego temperatury. W ten sposób układ regulacji wilgotności spowoduje zaburzenia w regulacji temperatury prowadząc do rozkołysania układu i pogorszenia procesu regulacji. W efekcie większy nakłady na regulację oznacza wzrost kosztów zużycia energii. W sytuacji kontrolowania wilgotności poprzez parametr temperatury punktu rosy, układ regulacji wilgotności nie jest zakłócany zmianami temperatury. Regulacja tym sposobem jest bardziej efektywna.

”Właściwie dobrana wielkość pomiarowa może się okazać kluczowa

TEMPERATURA PUNKTU ROSY

Temperatura punktu rosy jest parametrem bardzo często stosowanym zamiennie z wilgotnością względną, gdyż łączy w sobie dwie wielkości – wilgotność i temperaturę. Pojęcie temperatury punktu rosy często wykorzysty-



Rysunek 4.
Schemat pojemnościowego czujnika wilgotności

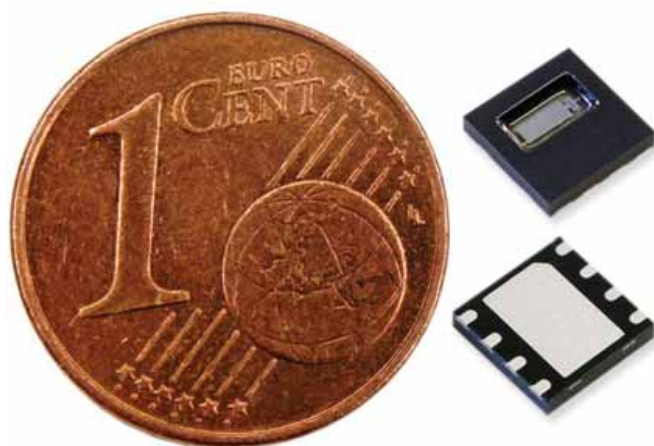


TEMPERATURY MOKREGO ELEMENTU

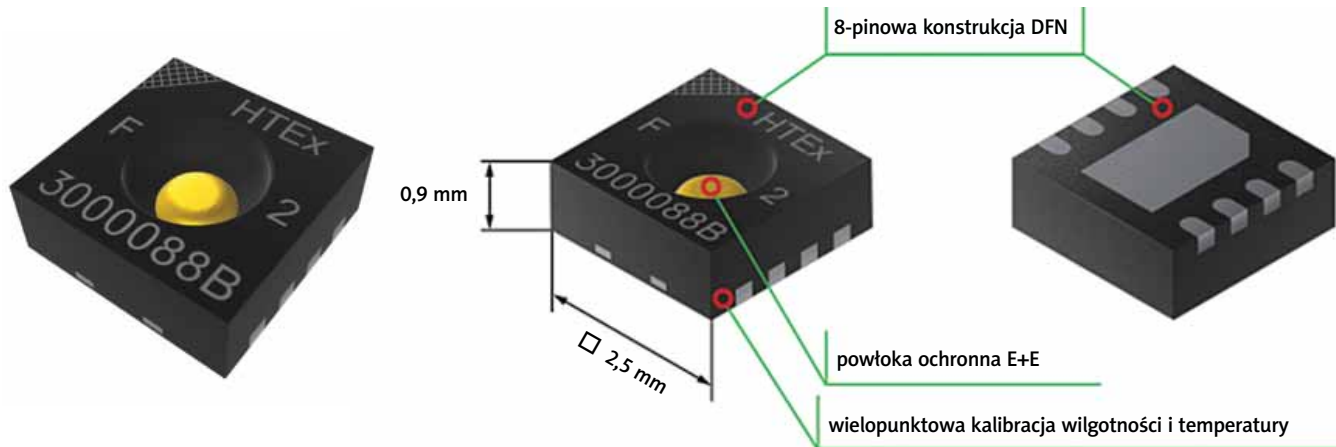
Z wilgotnością związanych jest jeszcze kilka innych parametrów, które mimo, że opisują to samo zjawisko, wygodnie interpretować właśnie w tej innej postaci. Oprócz punktu rosy może to być temperatura mokrego termometru. Jeżeli dokonamy pomiaru temperatury powietrza zwykłym termometrem oraz termometrem owiniętym materiałem nasączonym wodą, to okaże się, że pomiędzy nimi występuje pewna różnica wskazań. Czym powietrze będzie bardziej suche, tym ta różnica będzie większa – termometr mokry wskazuje mniejszą temperaturę. W trakcie parowania wody następuje bowiem odbieranie ciepła z otoczenia – schładzanie. Powyższe zjawisko nie tylko służy do określania wilgotności względnej za pomocą tablic psychometrycznych ale może być wprost wykorzystane w celu zwiększenia efektywności chłodni kominowej. Aby schłodzić cokolwiek poprzez parowanie, temperatura mokrego termometru musi być mniejsza niż temperatura obiektu chłodzonego. Inaczej proces chłodzenia nie nastąpi. Także my, ludzie wykorzystujemy ten proces. Człowiek w spoczynku wytwarza około 100 W ciepła, które musi oddać otoczeniu, jeśli nie chce umrzeć z przegrzania. Pot to naturalny element zwilżający. Parowanie odprowadza ciepło z naszego ciała i efekt ten wspomagany jest dodatkowo przez odpowiednią wentylację. Powiew wiatru zwiększa w ten sposób uczucie chłodu. Jeżeli jednak temperatura mokrego termometru będzie wyższa niż temperatura naszego ciała, to schładzanie nie nastąpi i istnieje realne ryzyko przegrzania organizmu.



Rysunek 5
Przykład pojemnościowego czujnika wilgotności starszego typu



Rysunek 6
Przykład sensora wilgotności do montażu SMD. Zdecydowanie mniejszy gabarytowo.



Rysunek 7.
Cyfrowy sensor wilgotności serii HTE501.



POMIAR WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ

Na tym etapie pozostawimy pozostałe wielkości fizyczne związane z wilgotnością. Pozostało ich jeszcze co najmniej kilka, wrócimy do nich przy okazji innego artykułu. W dalszej części opowiemy w jaki sposób mierzona jest wilgotność w oferowanych przez nas urządzeniach. Istnieje kilka sposobów pomiaru wilgotności względnej. Firma E+E Elektronik wybrała metodę opartą o zmianę pojemności kondensatora i jest producentem takich właśnie czujników.

Zmiana pojemności tak zbudowanego kondensatora przetwarzana jest przez układ elektroniczny, który oblicza wilgotność. W układzie pomiarowym, obok sensora wilgotności znajduje się sensor temperatury (najczęściej PT1000), który wykorzystywany jest do właściwego przeliczenia wilgotności, a także informuje użytkownika o temperaturze medium. Wspominaliśmy już, że wilgotność względna bez informacji o temperaturze nie jest kompletną informacją.

Powyższe czujniki, które przetwarzają wielkość fizyczną (wilgotność) na elektryczną (pojemność) wymagają układu pomiarowego, który zmierzy tę pojemność oraz układu przetwarzającego, który przeliczy pomiar na informację właściwą. Trzeba przy tym uwzględnić wszelkiego rodzaju kompensacje niekorzystnych czynników, nieliniowość układu, powtarzalność pomiaru, błędy itp. Producenci urządzeń chcąc wykorzystać takie sensory muszą więc sprostać sporym wymaganiom, mieć wiedzę i doświadczenie w tym temacie. Zdecydowanie prościej jest w przypadku sensorów cyfrowych, w których zaszyta elektronika pozwala nowemu, zdecydowanie mniej doświadczonemu użytkownikowi, wykorzystać sensor. Nie musi on myśleć o przetwarzaniu pojemności tylko wykorzystuje układ mikroprocesorowy odpytujący sensor drogą cyfrową za pomocą protokołu I²C.

Gotowy do użycia sensor HTE501 posiada dokładność pomiaru wilgotności względnej na poziomie 1,8% (z uwzględnieniem histerezy) i może pracować w temperaturze od -40 do 135°C. Aktyw-

na część sensora pokryta jest opatentowaną przez producenta powłoką, która trwale chroni przed brudem i osadami korozyjnymi. Sensor taki można więc zastosować w szerokim zakresie aplikacji, nawet w wymagających i trudnych warunkach.

Przełomowym niemal faktem jest zabudowanie w sensorze możliwości jego ciągłego podgrzewania, co zabezpiecza sensor przed kondensacją wody i ogranicza korozję. Wprawdzie trzeba wtedy użyć drugiego sensora mierzącego właściwą temperaturę otoczenia i wykonać kilka obliczeń w procesorze, jednak korzyści płynące z takiego rozwiązania są rewolucyjne. O idei i korzyściach z podgrzewanych sensorów pisaliśmy w 4 numerze Pod Kontrolą w roku 2012.

Wartości mierzone dostępne są w formacie 16-bitowych liczb całkowitych, poprzez protokół transmisji danych I²C. Bezpośrednio z sensora może być także odczytana temperatura punktu rosy. Dzięki adresacji bitowej można na jednej szynie danych kontrolować 8 sensorów. Aż trudno uwierzyć, że cała ta funkcjonalność mieści się na elemencie wielkości 2,5×2,5 mm i niespełna milimetrze grubości. Dzięki cyfrowym sensorom takim jak HTE501 (czy samej temperatury TEE501) znacznie łatwiej wprowadzić takie pomiary do produkcji własnych wyrobów czy podzespołów.



WILGOTNOŚĆ WILGOTNOŚCI NIERÓWNA

Jak wskazaliśmy w niniejszym artykule, pod potocznym sformułowaniem wilgotności powietrza kryje się wiele różnych parametrów. Ich znajomość pomaga w zrozumieniu zawitości pomiaru wilgotności, szczególnie w warunkach przemysłowych. Oczywiście w praktyce mało kto ma czas na rozważania akademickie. Na szczęście całą wiedzę na temat pomiaru wilgotności producenci wykorzystują w procesie konstruowania swoich urządzeń. My otrzymujemy gotowe rozwiązanie, które lata badań naukowych i tomy dokumentacji mieści w małym, cyfrowym sensorze. Pozostaje tylko wiedzieć jaki sensor wybrać, aby cieszyć się skutecznym, dokładnym i trwałym pomiarem przez długi czas.

„6,25 mm² mieści sensor wilgotności wraz z elektroniką