

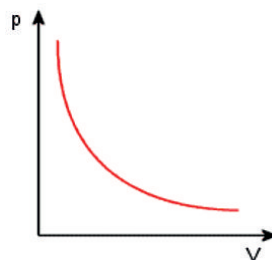
Para wodna

Para wodna jest gazem. Potocznie jednak, co jest mylące, parą wodną nazywamy to, co unosi się nad dziubkiem czajnika z gotującą się wodą. Mgiełka, którą obserwujemy, to już skroplona para wodna. **Para wodna jest niewidocznym gazem**, zresztą tak jak i powietrze.

Gazy wchodzące w skład powietrza świetnie opisuje tzw. model gazu doskonałego. Ten opis rzeczywistych gazów sprawdza się w sytuacji, gdy molekuly gazu znajdują się na tyle daleko od siebie, że z sobą nie oddziałują poza momentami, w których zderzają się jak elastyczne mikroskopijne kuleczki. Kiedy myślimy o objętości gazu, to zaniedbujemy objętość, jaką te kuleczki zajmują, lecz mamy na myśli objętość obszaru, w jakim się one poruszają.

Temperatura gazu mówi nam o średnich szybkościach tych kuleczek, o ich energii kinetycznej.

Gaz doskonały ma taką własność, że w stałej temperaturze, gdy maleje jego objętość (czyli gdy gaz ulega ściskaniu), wzrasta jego ciśnienie (Prawo Boyle'a-Mariotte'a). Tłumaczy się to tym, że ściany naczynia, w którym jest gaz, są częściej uderzane przez



Zależność ciśnienia od objętości gazu doskonałego (hiperbola)

kulki. Gdy podgrzewa się gaz w stałej objętości, to wzrasta średnia szybkość kuleczek i w związku z tym wzrasta też ciśnienie gazu. O tym mówi prawo Gay-Lussaca gazu doskonałego. Powietrze zachowuje się w normalnych warunkach jak gaz doskonały.

Para wodna jest gazem. Czy zachowuje się jak gaz doskonały? Zależy w jakich warunkach. Jak jest rozrzedzona, to tak. Ale w przypadku, gdy jest nasycona, to już nie!

A kiedy mamy do czynienia z parą nasyconą?

Woda paruje. Nad jej powierzchnią unoszą się drobiny wody. To te szybsze wybijają się nad powierzchnię wody, powodując oziębianie pozostałej wody. Zachodzi proces parowania i nad powierzchnią wody jest para wodna. Część drobin unoszącej się pary wodnej wpada do wody, powodując proces odwrotny, skraplanie. W przypadku gdy mamy ustaloną równowagę, czyli że tyle samo wody paruje co skrapla się, to mamy do czynienia z parą nasyconą. Wtedy w danej temperaturze nie można zwiększyć ilości pary nad powierzchnią ani jej ciśnienia.

Wilgotność powietrza określa zawartość pary wodnej w jednostce objętości powietrza.

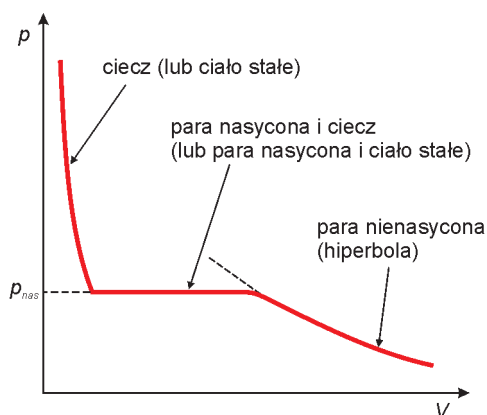
Wilgotność bezwzględna – to masa pary wodnej zawarta w 1 m^3 powietrza w danej temperaturze, czyli gęstość pary wodnej. Para nasycona ma największą w danych warunkach gęstość. Mówimy wtedy o wilgotności pary nasyconej.

Wilgotność względna – wyrażana w procentach – to stosunek wilgotności bezwzględnej do gęstości pary nasyconej w danej temperaturze.

Mówiąc o prawach gazu doskonałego, mieliśmy do czynienia z tą samą ilością drobin gazu. Teraz przy rozważaniu pary mamy do czynienia ze zmienną ilością drobin pary, część się skrapla, dochodzą nowe z procesu parowania.

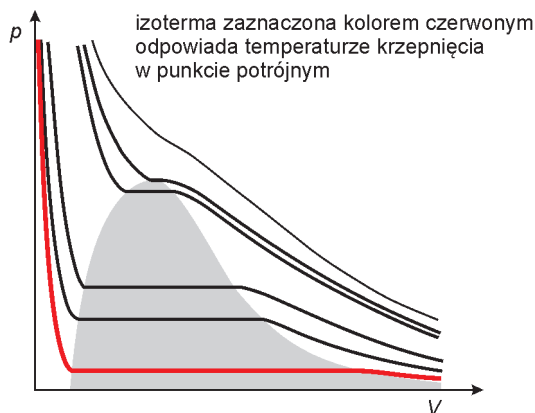
W tej sytuacji wykres zależności ciśnienia od objętości będzie teraz inny niż dla gazu doskonałego. Dla gazu doskonałego była to krzywa zwana hiperbolą opisana równaniem: $pV = \text{const}$, czyli $p = \text{const}/V$.

Dla pary wodnej analogiczny wykres wygląda następująco:



Patrząc na krzywą od prawej strony widzimy, że zmniejszanie objętości pary powoduje wzrost ciśnienia, jak dla gazu doskonałego, następnie dalsze ściśnienie gazu, nie powoduje wzrostu ciśnienia, widzimy płaski odcinek krzywej. Dlaczego tak jest? Para zaczyna się skraplać, ubywa drobin pary, ale nie maleje

ciśnienie. Tak się dzieje do momentu, gdy wszystkie para się skropli, będziemy mieć już tylko wodę, ewentualnie lód. Woda i lód są w porównaniu z gazem praktycznie nieściśliwe, więc nawet niewielki ubytek objętości powoduje bardzo szybki wzrost ciśnienia (już wody).

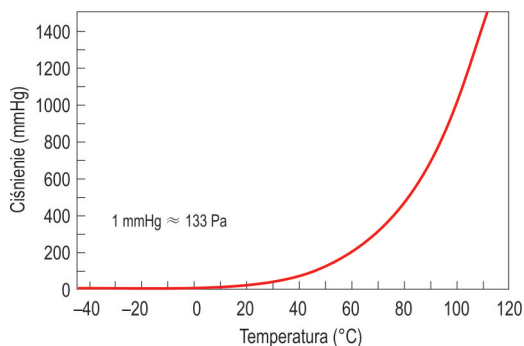


W wyższych temperaturach krzywe zależności ciśnienia p od objętości (izotermy) leżą coraz wyżej, a odcinki płaskie są coraz krótsze. Najniższa na rysunku izoterma, zaznaczona na czerwono, oznacza proces przy najniższej z rozważanych temperatur, w której zmniejszanie objętości pary prowadzi do krzepnięcia, czyli powstawania lodu.

Obszar szary na rysunku, który jest wyznaczony przez proste odcinki izoterm, jest obszarem, w którym współistnieje para nasycona i woda – powyżej czerwonej linii, i para i lód – poniżej.

Wartość temperatury i wielkość ciśnienia czerwonej izotermy wyznacza tzw. punkt potrójny. Dla wody to $T_0 = 273,01$ K (czyli znane nam ze szkoły 0°C), a ciśnienie $p_0 = 613$ Pa, czyli mniej niż ciśnienie atmosferyczne.

Im wyższa temperatura, tym większa gęstość pary nasyconej i jej ciśnienie. Ilustruje to wykres:



Zależność ciśnienia pary nasyconej od temperatury

Dane o wilgotności względnej są bardzo ważne, głównie z tego powodu, że organizmy żywe reagują właśnie na tę wilgotność względną, która określa jakość ich środowiska powietrznego. Rybaków i marynarzy interesuje wilgot-

ność względna, gdyż od stanu nasycenia powietrza parą wodną zależą zmiany pogodowe.

Również znajomość aktualnego ciśnienia pary wodnej w powietrzu jest w praktyce ważna, ponieważ w znacznym stopniu wpływa na stopień samopoczucia człowieka. Stwierdzono bowiem, że po przekroczeniu pewnego progu ciśnienia pary wodnej (18,8 hPa w warunkach bezwietrznych) człowiek zaczyna odczuwać duszność.

Temperatura punktu rosy (t_d) jest to temperatura, w której powietrze osiągnęło stan nasycenia parą wodną.

Pomiary wilgotności

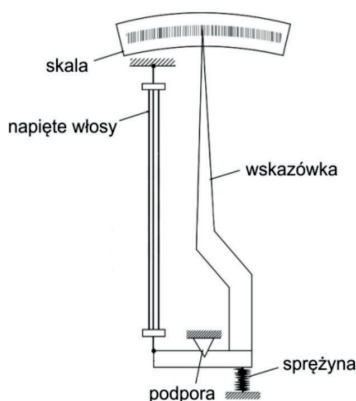
Przyrządy do pomiaru wilgotności powietrza to higrometry (z greckiego *hygros* – wilgotny, mokry) i psychrometry (*psychros* – zimny, chłodny).

Zmieniającą się zawartość pary wodnej w powietrzu próbowano określać na przełomie XV i XVI wieku. W 1500 roku Leonardo da Vinci zbudował pierwszy higrometr. Była to kula bawełniana lub wełniana, która zmieniała swoją masę absorbując wilgoć z atmosfery. Kulę tę powieszono na wadze, której wychylenia wskazywały wilgotność otoczenia. Były to pomiary bardzo mało dokładne, ale przyczyniły się do rozwoju dalszych badań z tej dziedziny.

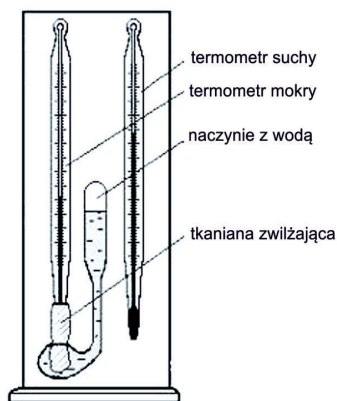
Higrometr włosowy

W końcu XVIII wieku de Saussure zbudował pierwszy udoskonalony higrometr włosowy. Pomysł zastosowania włosa ludzkiego okazał się na tyle dobry, że nadal znajduje zastosowanie we współczesnych higrometrach.

W 1828 roku August skonstruował przyrząd określający wilgotność powietrza na podstawie wskazań dwóch termometrów, który nazwał psychrometrem. Jeden miał banieczkę owiniętą mokrym muślinem stale zwilżanym z naczynia szklanego zawierającego destylowaną wodę. Naturalny ruch powietrza powodował odparowywanie wody z muślinu i oziębianie banieczki tzw. termometru mokrego. Różnica wskazań obu termometrów była miarą wilgotności powietrza. Zastosowana tu zasada okazała się tak dobra, że stosuje się ją nadal w nowoczesnych psychrometrach.



Schemat higrometru włosowego



Schemat psychrometru