S.n.

Termodynamika w.8

**Gazy wilgotne- powietrze wilgotne**

Zakres:

1. Gazy wilgotne,
2. Wykres ,
3. Procesy z użyciem gazów wilgotnych.

**Gazy wilgotne** jest to mieszanina gazów, w której przynajmniej jeden ze składników może zmieniać stan skupienia w rozpatrywanym obrzarze stanów.

**Powietrze wilgotne** jest to mieszanina powietrza ( np. w pewnym uproszczeniu może ono być traktowane, jak mieszanina tlenu i azotu o udziałach wagowych odpowiednio lub o udziałach objętościowych odpowiednio

„Powietrze jest bezbarwne, bez smaku, słabo rozpuszczalne w wodzie. Skroplone powietrze jest bladoniebieskie. [Gęstość powietrza](https://pl.wikipedia.org/wiki/G%C4%99sto%C5%9B%C4%87_powietrza) zależy od ciśnienia, temperatury oraz składu; dla suchego powietrza, przy ciśnieniu atmosferycznym, na poziomie morza, w temperaturze 20 °C wynosi 1,2 kg/m³. Temperatura topnienia zestalonego powietrza wynosi około −213 °C, a temperatura wrzenia około −191 °C.” [1]

W zakresie niewysokich ciśnień ( porównywalnych do ciśnienie atmosferyczne):

a/ powietrze jest gazem doskonałym

b/ para wodna jest gazem doskonałym

c/ obowiązuje prawo **Daltona**:

Gdzie: są odpowiednio ciśnieniem powietrza wilgotnego ( ciśnienie tzw. całkowite), ciśnieniem gazu suchego ( sucha mieszanina np. tlenu i azotu w powietrzu), ciśnieniem pary wodnej.

Uwaga!

W dalszej części wykładu dla gazu suchego ( sucha frakcja powietrza wilgotnego) będziemy używać indeksu „g” , natomiast dla pary wodnej – „p”.

Za pomocą jakich parametrów możemy scharakteryzować powietrze wilgotne?

**Wilgoć ( wilgotność bezwzględna)** jest to gęstość powietrza w powietrzu wilgotnym:

Dla danych warunków maksymalna wilgotność bezwzględna oznacza maksymalna ilość pary, którą gaz suchy jest w stanie „unieść” ze sobą, bez wykraplania się wody.

Wyobraźmy sobie , ze w danych warunkach termicznych ( określona temperatura i ciśnienie) jesteśmy w stanie wyobrażeniowo „wyciąć” 1 m3 powietrza uprzednio osuszonego, w postaci sześcianu. Utrzymujemy temperaturę na zadanym poziomie. Równocześnie mierzymy bardzo dokładnie ciśnienie. Do tak „przygotowanej próbki” zaczynamy pompować wodę.

Na samym początku , woda znika, równocześnie nasz super wrażliwy manometr wskazuje na minimalny wzrost ciśnienia. W pewnym momencie – woda zaczyna się wykraplać, każda dodatkowa porcja wykrapla się i spada na podłogę na której umieściliśmy nasz sześcian, a ciśnienie dalej nie rośnie. W sześcianie panują warunki nasycenia, para wodna jest w ilości maksymalnej dla danej temperatury. Gęstość pary zawartej w powietrzu osiąga wartość maksymalną. Natomiast temperaturę, w której wykrapla się woda nazywamy Punktem Rosy.

Gęstość jako parametr informujący nas o tym jak blisko jest zjawisko wykraplania wody jest raczej nieprzydatna. Znacznie bardziej praktyczny byłby parametr porównujący ze sobą np. masę pary w powietrzu do maksymalnej ilości pary , która może znajdować się w powietrzu. Wtedy w % możemy bardzo precyzyjnie określić moment wykraplania się wody, bardzo niebezpieczny np. dla elektroniki. Takim użytecznym parametrem jest wilgotność względna, czyli stosunek masy pary zawartej w powietrzu do maksymalnej ilość mary  **,** którą może „udźwignąć” powietrze w danych warunkach termicznych. Po podzieleniu licznika i mianownika przez objętość mieszaniny powietrze-gaz suchy – para wodna otrzymamy odpowiedni stosunek gęstości pary wodnej w powietrzu do gęstości maksymalnej pary wodnej , a po zastosowaniu równania Clapeyrona – odpowiedni stosunek ciśnienia pary wodnej w powietrzu do jej wartości maksymalnej dla danych warunków termicznych.

**Wilgotność względna**

i możnaje odczytać w tabeli określającej podstawowe własności nasyconej pary wodnej np. (Tab.1 Parametry fizyczne pary wodnej nasyconej i wody (według temperatury) – czasami określa się je jako „parametry wody na liniach granicznych stopnia suchości”, mając na uwadze stopnie suchości x=0 oraz x=1 w poprzednim wykładzie nr.7)

Dlaczego warunki termiczne są istotne?. Wyobraźmy sobie co się stanie z gdy nasz sześcian powietrza z wykroploną wodą, zaczniemy podgrzewać…

Właściwie można zauważyć na tym etapie, że wilgotność bezwzględna rośnie wraz z temperatura , ponieważ masa pary wodnej utrzymywana w powietrzu cieplejszym jest wyższa niż przez w powietrzu zimniejszym. Oznacza to, że najwięcej wody w powietrzu jest w .. lecie. Natomiast wilgotność względna „zachowuje się” odwrotnie: wraz ze wzrostem temperatury jej wartość maleje.

**Stopień zawilżenia** może być masowy lub kilomolowy. Jest to stosunek liczności ( masa lub ilość kilomoli) pary do liczności gazu suchego. Najbardziej rozpowszechniony jest masowy stopień zawilżenia

Kiedy mamy do czynienia z powietrzem wilgotnym o danej wilgotności względnej w zakresie od 0 do 1 ( 0% do 100% - stanu nasycenia w danych warunkach termicznych) , możemy bardzo łatwo policzyć stopień zawilżenia, pamiętając o tym , że **powietrze wilgotne jest mieszaniną dwóch gazów doskonałych – spełniających prawo Clapeyrona oraz spełniających prawo Daltona.**

oraz

przy czym ( mieszanina odpowiednio tlenu i azotu)

Po podzieleniu stronami otrzymamy:

Czyli:

Zadanie

Określić stopień zawilżenia dla powietrza wilgotnego o temperaturze 30 C, ciśnieniu 0,1 Mpa którego .

Przede wszystkim musimy znaleźć ciśnienie nasycenia dla tej temperatury, czyli  **,** ciśnienie

0,010786

Proszę zauważyć, że zmieniając temperaturę lub wilgotność lub ciśnienie ( to całkowite p) powietrza wilgotnego , zmieniamy tym samym jego stopień zawilżenia. Parametr ten jest dość istotny w procesie spalania , bowiem para wodna, woda jest w tym przypadku niepotrzebnym balastem, chociaż w wyjątkowych przypadkach może ochronić pył węglowy przed samozapłonem.

Powietrze wilgotne jest mieszaniną gazu suchego i pary wodnej, zatem można ją charakteryzować wielkościami takimi jak zastępcza stała gazowa i masa zastępcza . Dla podkreślenia , ze mamy do czynienia z powietrzem wilgotnym oznaczenia uwzględniają to :.

Ilość powietrza wilgotnego, jak można się było domyślać jest sumą ilości gazu suchego ( mieszanina tlenu i azotu w odpowiednim stosunku ilościowym) oraz pary wodnej zawartej w powietrzu:

Oraz gęstość powietrza wilgotnego to:

Oraz stała zastępcza gazowa dla powietrza wilgotnego:

Po podzieleniu licznika i mianownika przez masę gazu suchego i wykorzystaniu definicji :

Równanie to można przekształcać w dalszym ciągu:

Jeśli przyjmiemy, że Stała gazowa dla powietrza suchego , dla pary wodnej

Zadanie

Określić stopień zawilżenia dla powietrza wilgotnego o temperaturze 30 C, ciśnieniu 0,1 MPa którego . Określić także zastępczą stała gazową dla takiego przypadku.

W poprzednim zadaniu wyliczyliśmy X=0,010786. Zatem podstawiając do wzoru (\*\*6)

288,7631

Po co obliczamy zastępczą stałą gazowa dla powietrza wilgotnego?

Wiedząc , że powietrze wilgotne ma objętość klasy o wymiarach 10mx20mx3m, ciśnienie temperaturę T=293K i , możemy wyznaczyć masę całej mieszaniny z równania Clapeyrona: jako 709,873kg. Jest to wynik prawdopodobny , bo klasa ma objętość 10mx20mx3m=600m3. Powietrze ma gęstość powyżej 1 kg/m3.

A wiedząc , że oraz , wyznaczymy masę pary , która może wykroplić się w pomieszczeniu w całości:

czyli 7,57 kg (!)

Oczywiście pamiętamy , że para wodna wykrapla się wraz z obniżaniem się temperatury, wiec 7,57kg jest to maksymalna ilość wody , która wykropli się gdy temperatura w pomieszczeniu będzie spadać do 0C.

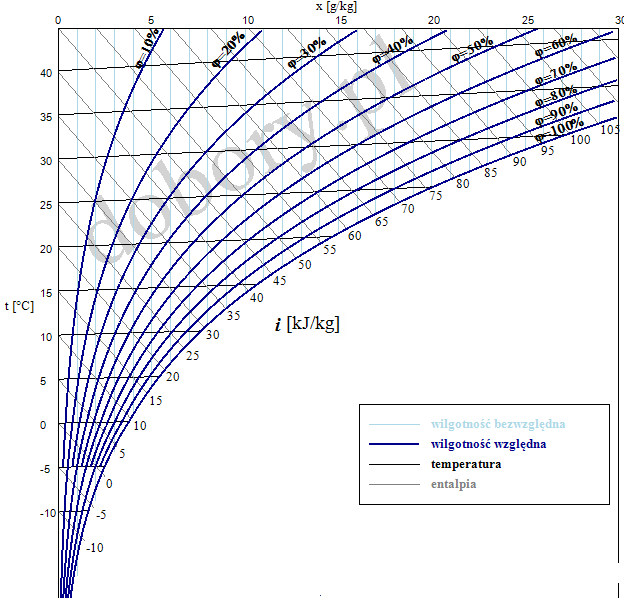
**Entalpia powietrza wilgotnego** , jak każda entalpia jest wielkością ekstensywną , czyli wielkością której składowe sumują się. Zatem  **a jej wielkość właściwa jest odniesiona do masy gazu suchego.** Umową jest tworzenie wielkości właściwych dla powietrza wilgotnego odnosząc odpowiednie wielkości ekstensywne do masy gazu suchego (!)

Ponieważ entalpia właściwa ma konkretne znaczenie praktyczne, zobaczmy jak ją się oblicza:

Lub wprost z definicji:

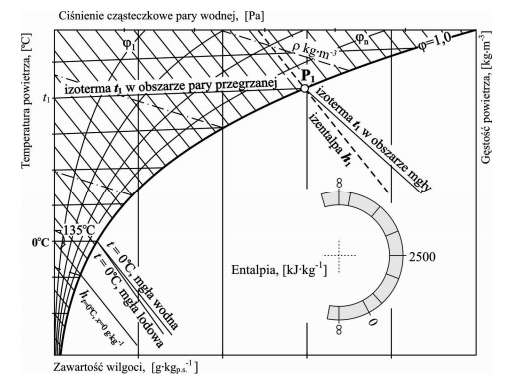
**Wykres Moliera (** Wykres dla powietrza wilgotnego) Rys.1

„Zawartość pary wodnej w powietrzu atmosferycznym zmienia się, a zachowanie jej jest odmienne od pozostałych gazów (możliwość zmiany stanu skupienia) - można więc do celów praktycznych traktować powietrze atmosferyczne jako mieszaninę powietrza suchego (składającego się wyłącznie z gazów) oraz pary wodnej. Ilość pary wodnej znajdującej się w jednostce objętości powietrza nie może przekraczać pewnej wielkości maksymalnej, która jest zależna od temperatury. **Czym cieplejsze powietrze, tym więcej pary wodnej może być w nim zawarte**. Wykres Molliera przedstawia relacje między temperaturą powietrza, wilgotnością i entalpią. Jest podstawowym narzędziem dla inżynierów budownictwa i projektantów wentylacji.” [2]



Rys.1 [3]

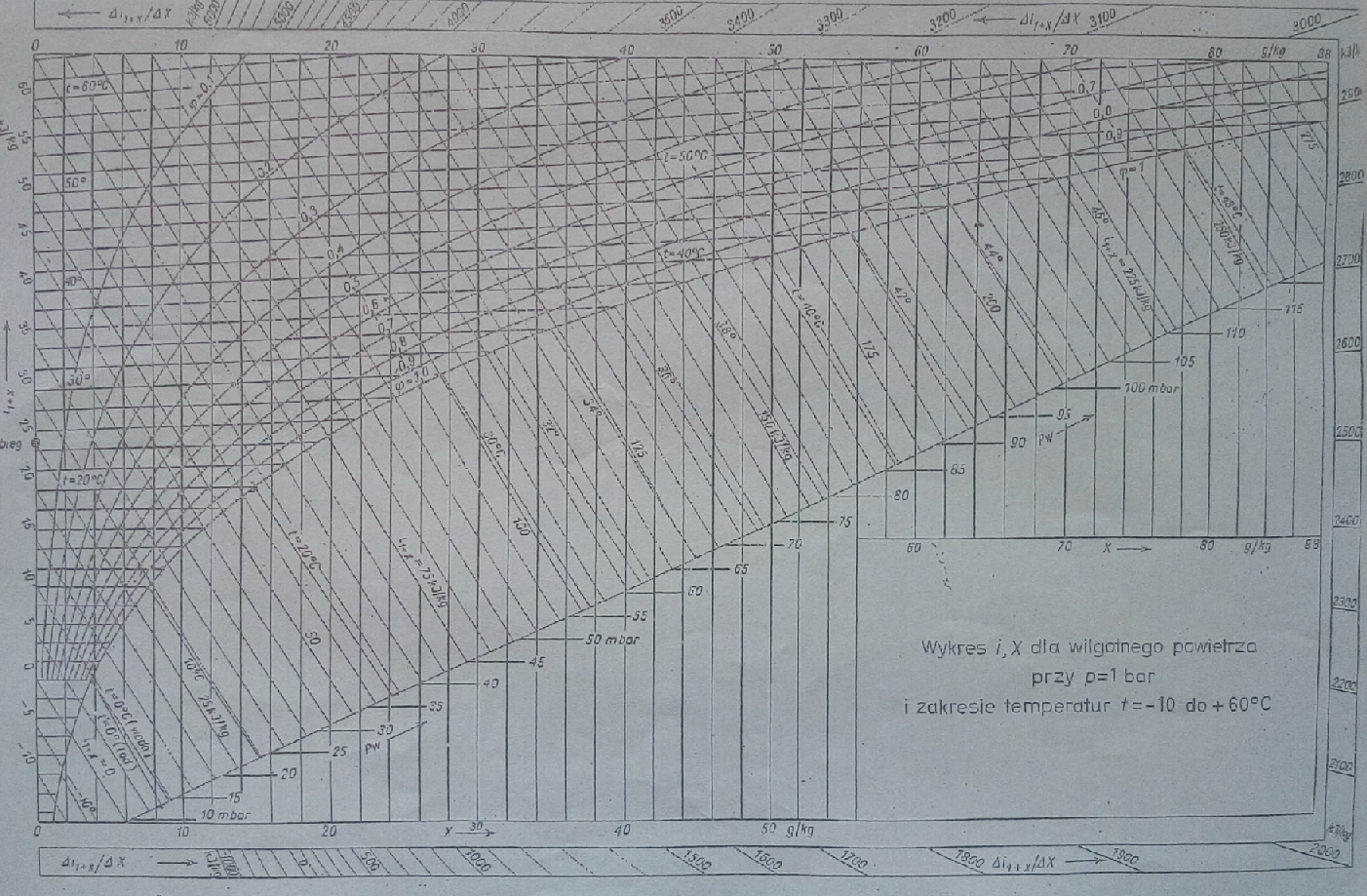
Lub dokładniejszy, Rys.2



Rys.2 [4]

Na wykresie przedstawione są parametry wilgotnego dla ciśnienia , czyli dla ciśnienia otoczenia

Wykres Wykres w wersji „pełnej” poniżej na rys.3



Rys.3 Wykres

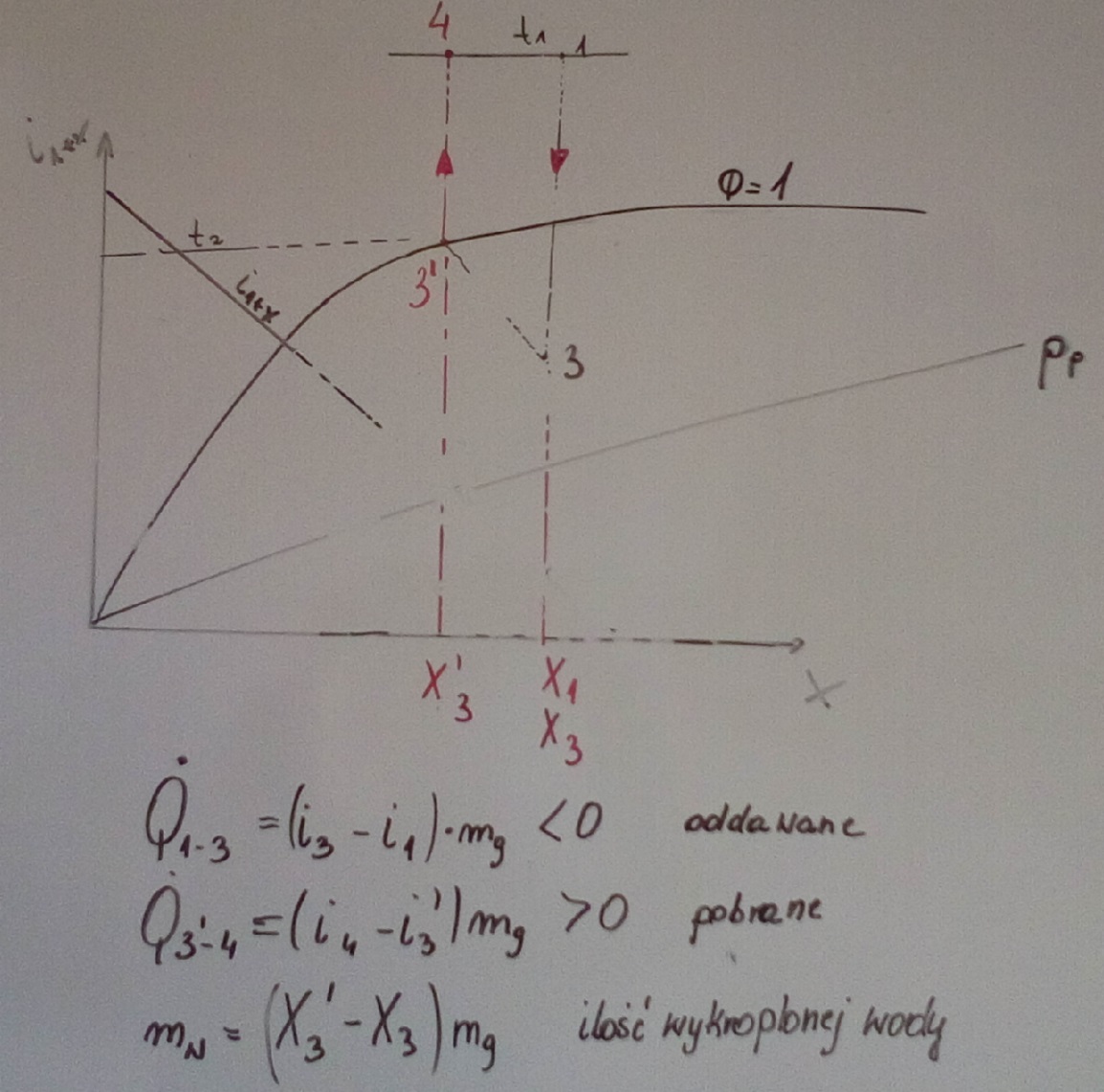
**Procesy w powietrzu wilgotnym**

1. **Ochładzanie i ogrzewanie dla procesów izobarycznych w powietrzu wilgotnym (przy stałym ciśnieniu parcjalnym pary)**

Procesy izobaryczne dla powietrza wilgotnego oznaczaj procesy dla stałej wartości ciśnienia parcjalnego pary zawartej w powietrzu. Linie stałego ciśnienia pokrywają się na wykresie z liniami stałego stopnia zawilżenia X.

Z I ZT dla procesów izobarycznych mamy , przy czym wartość ta może być dodatnia lub ujemna w zależności od znaku różnicy. Jeśli ciepło jest dodatnie , to znaczy że czynnik – gaz pobiera ciepło, jeśli ciepło jest ujemne oznacza , że wspomniany czynnik – gaz oddaje ciepło ( zmniejszając własną temperaturę)

Na Rys. 4 sa przedstawione procesy izobarycznego odpowiednio ochładzania od temperatury w punkcie 1 do temperatury w punkcie 3 , z wykropleniem części wody . Następnie jest izobaryczne podgrzewanie od punktu do punktu 4.



Rys.4

Ciepło w skrócie : ma wartość ujemną , czyli jest oddawane przez powietrze wilgotne ;

Ciepło jest dodatnie , jest wiec pobierane przez gaz . Równocześnie w trakcie obniżania temperatury z gazu wykrapla się część wody

zatem czyli

Wartość „ujemna” wynika z kierunku zachodzenia procesu wykraplania wody. Ilość

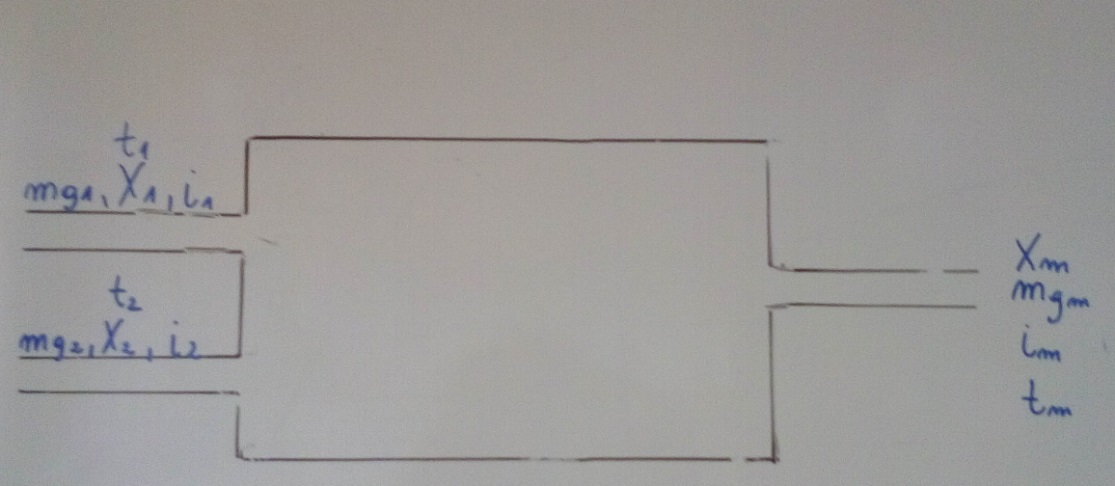
wykroplonej wody , jest oczywiście zawsze dodatnia.

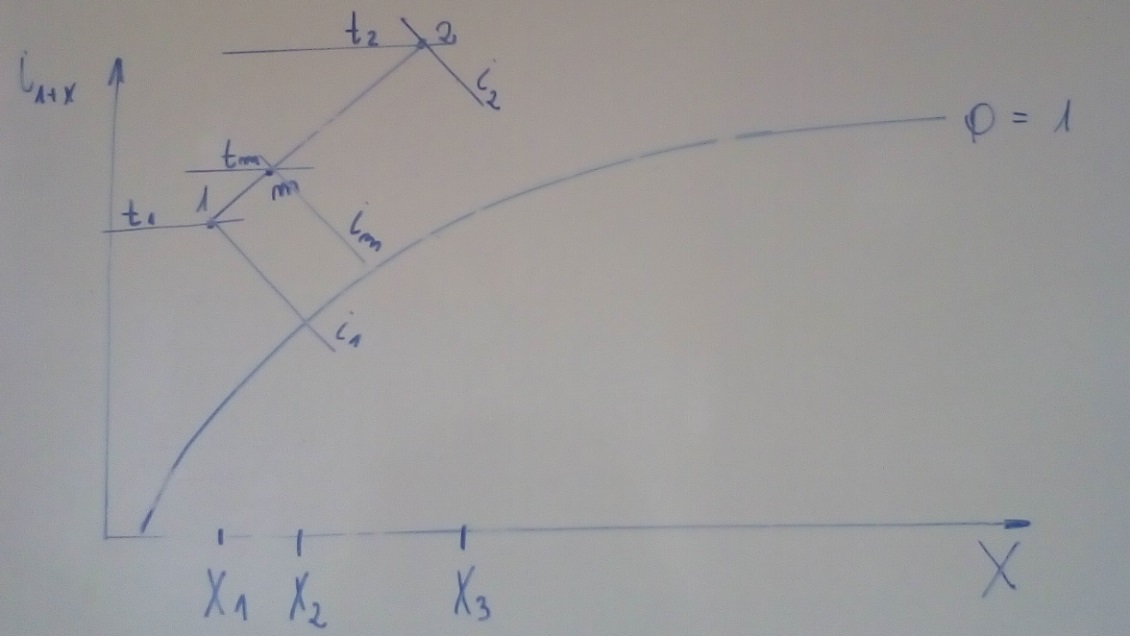
1. **Mieszanie się dwóch strumieni powietrza wilgotnego**

Na Rys.5 jest schemat mieszania się dwóch strug powietrza. Najszybszy analityczny sposób rozwiązania takiego zadania , polega na sformułowaniu układu trzech równań bilansowych: bilansu gazu suchego, bilansu wody w powietrzu wilgotnym oraz bilansu entalpii powietrza wilgotnego ( proszę pamiętać o umowie , ), indeks „m” oznacza mieszaninę .

Skąd po przekształceniach otrzymujemy:

Można udowodnić, że punkt „mieszania” znajduje się pomiędzy punktami określającymi parametry wilgotnego powietrza.





Rys.5

Zadanie:

Mieszane są dwa gazy wilgotne ( powietrze wilgotne o różnej wilgotności)Pierwszy o strumieniu masy 3Kg/s ma parametry i=150 kJ/kg oraz X=0,04. Drugi o strumieniu masowym 6kg/s ma parametry i=85kJ/kg ; X=0,016 . Podać parametry mieszaniny.

Sporządzamy układ trzech równań, które następnie rozwiązujemy samodzielnie:

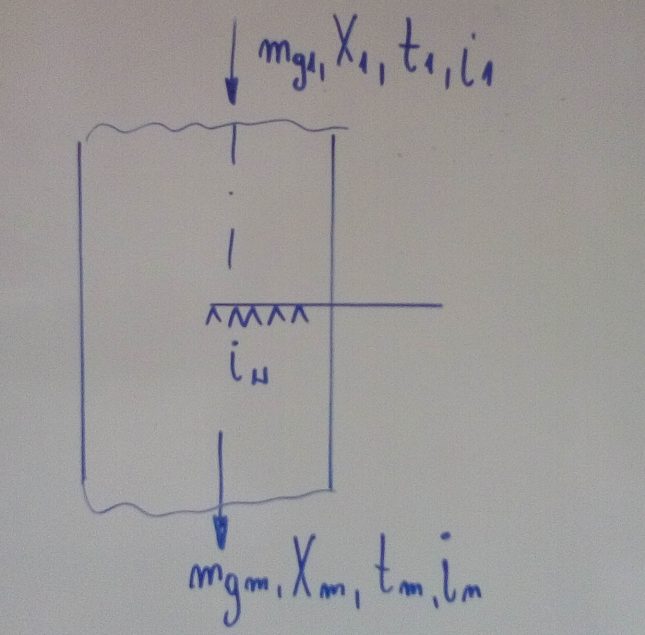
Dane

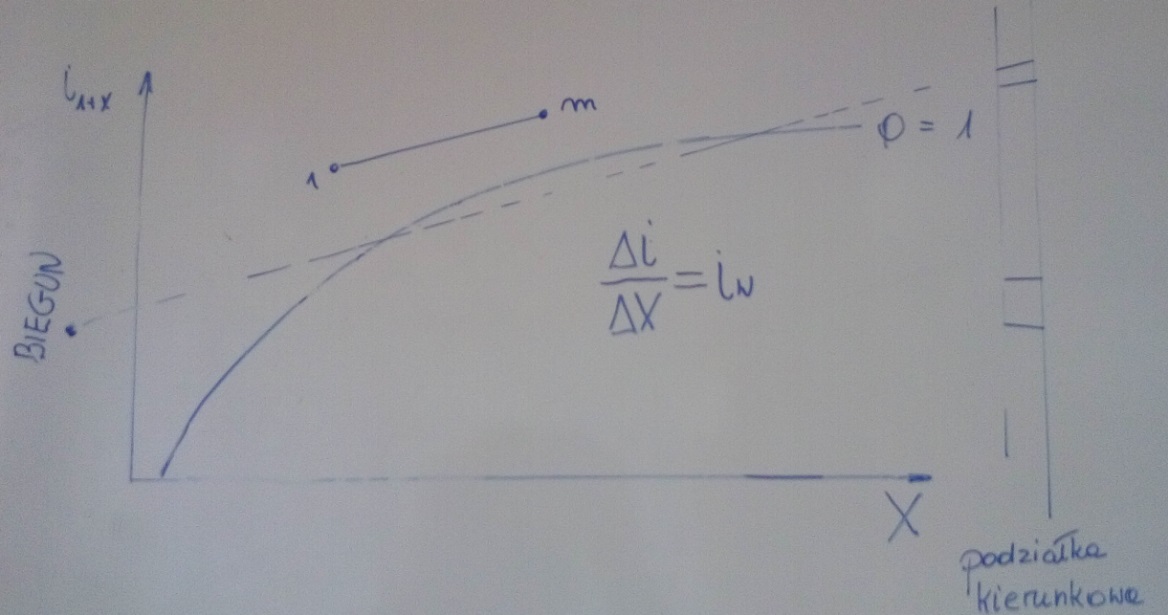
Układ trzech równań z trzema niewiadomymi:

1. **Nawilżanie powietrza wilgotnego**

Jest to proces podobny do mieszania dwóch strug wilgotnego powietrza , za wyjątkiem tego, że zamiast jednej ze strug gazu jest rozpylana woda o entalpii wynikającej z jej temperatury np. entalpia wody o temperaturze 20C. Poziomem odniesienia jest 0C. Rys.6

=4,1983,8.





Rys.6

Do rozwiązania analitycznego wykorzystamy wspomniane wyżej trzy bilanse , z których bilans gazu jest do pominięcia , ze względu na jego rozwiązanie tożsamościowe:

Czyli zasadne są bilans wilgoci i bilans entalpii.

Rozwiązując ten układ równań, ze względu na otrzymamy:

Na wykresie powietrza wilgotnego od wyrażenie (\*\*\*11) odpowiada tangensowy kata nachylenia tzw. prostej mieszania, czyli tzw. podziałce kierunkowej, co jest pomocne przy szybkim oszacowaniu entalpii wody potrzebnej do otrzymania powietrza o zadanych parametrach.

Zadanie

Kilogram powietrza o parametrach 310K (37C) i wilgotności 50% został dowilżony wodą . W wyniku tego procesu otrzymano powietrze o temperaturze 42 C i stopniu suchości X=0,030. Oblicz entalpię wody .

Najpierw trzeba określić wszystkie potrzebne parametry powietrza wilgotnego, możemy przy tym bądź znaleźć stopień zawilżenia wody przy pomocy wykresu dla powietrza wilgotnego lub obliczyć go w sposób analityczny, wg równania (3).

Proponuję znaleźć entalpię przy pomocy wykresu. Znajdujemy ją na przecięciu żądanej wilgotność względnej 50% i temperatury około 37C.

Entalpia właściwa z wykresu dla punktu „1” to około: = 100KJ/kg oraz =24)

Potrzebna jest też entalpia po dowilżeniu 42 C, X=0,030 ) około 120kJ/kg

Układamy układ równań:

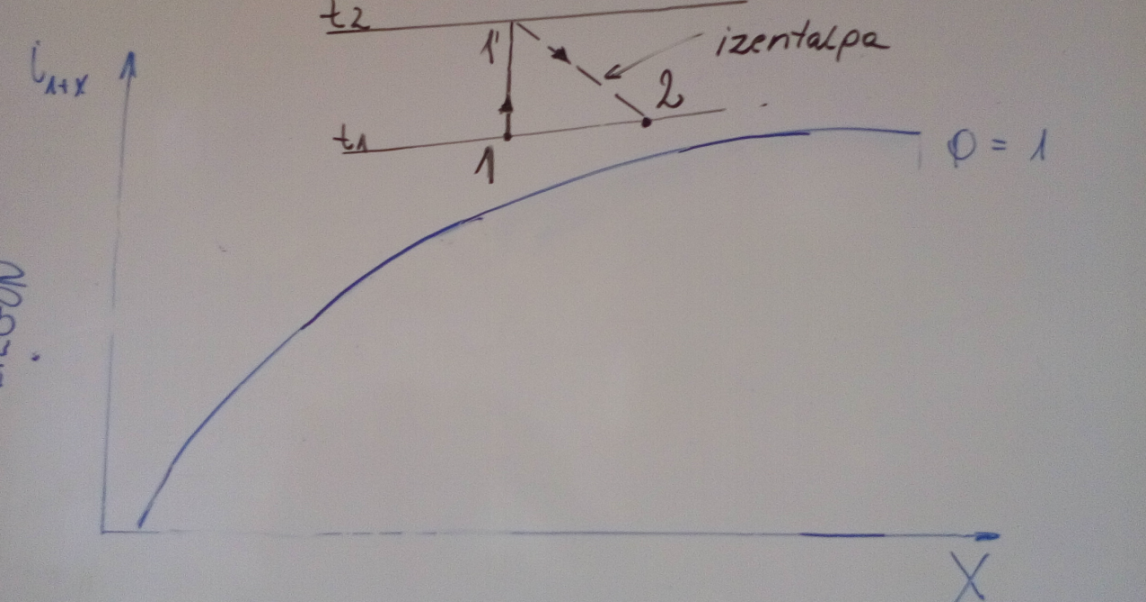
Rozwiązując układ równań otrzymamy zarówno strumień masy wody jak i żądaną entalpię wody: 3333,333kJ/kg

Ponieważ wiec temperatura tej wody to :795,5449C.

1. **Suszenie**

Proces suszenia możemy wyobrażeniowo podzielić na dwa etapy.

Materiał mokry w komorze jest podgrzewany tak , ze woda z materiału suszonego zmienia stopień zawilżenia gazu suszącego. Temperatura powierzchni materiału dochodzi do temperatury nasycenia w danych warunkach termicznych w komorze suszącej. W etapie na powierzchni nie ma wody , zaczyna ona docierać z głębszych warstw materiału. Kiedy temperatura materiału staje się wyższa niż temperatura nasycenia , woda „wyskakuje” z porów materiału. Powietrze suszące porywa ze sobą wilgoć. Przyjmuje się , że proces suszenia jest izentalpowy ( stała entalpia). Rys.7.



Rys.7

Opis matematyczny:

[1] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Powietrze>

[2] <http://www.odbiory.pl/index.php/poradnik-automatyki-i-bms/item/wykres-molliera-i-x>

[3] <http://dobory.pl/wykres-molliera-przemiany-powietrza-wilgotnego/>

[4] http://matrix.ur.krakow.pl/~isig/kbw/pomocnicze/Klimatyzacja.Rozdzial2.pdf