

**ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY  
W SZCZECINIE**

**INSTYTUT INŻYNIERII CHEMICZNEJ  
I PROCESÓW OCHRONY ŚRODOWISKA**

**Zakład Inżynierii Procesowej, Informatyki Procesowej  
i Ochrony Atmosfery**

**LABORATORIUM  
KINETYKI PROCESOWEJ**

**BADANIA KINETYKI PROCESU SUSZENIA**

**Szczecin**

## I. Podstawy teoretyczne

*Proces suszenia* polega na usuwaniu substancji lotnych (traktowanych jako wilgoć) z materiału wilgotnego w celu otrzymania suchego produktu w postaci ciała stałego.

Wilgoć zawarta w materiale wilgotnym może być z nim związana w trojaki sposób:

1. fizyko-mechanicznie – gdy wilgoć niezwiązana wypełnia przestrzenie między-ziarnowe i kapilary;
2. fizykochemicznie – poprzez wiązania adsorpcyjne zlokalizowane na powierzchni ciała stałego oraz osmotyczne, gdy w materiale cząstki o dużej masie tworzą półprzepuszczalne przegrody oddzielające wilgoć w stanie roztworu;
3. chemicznie – wilgoć występuje w ciele stałym w ilościach określonych stechiometrycznymi zależnościami, połączona z nim wiązaniami chemicznymi.

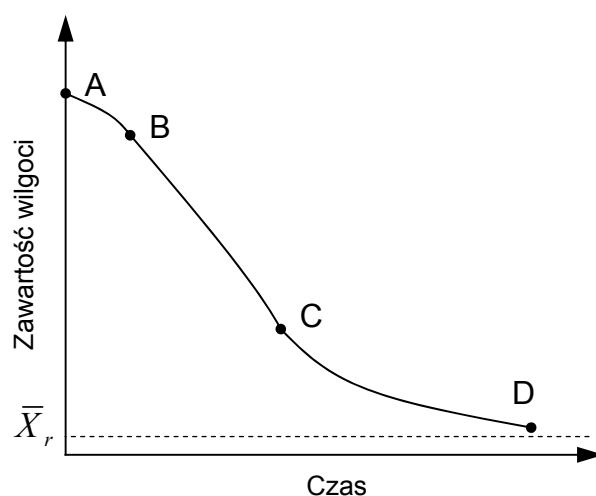
Energia może być dostarczana do suszonego materiału następująco:

- a) kontaktowo – ciepło przewodzone jest z powierzchni grzejnej do bezpośrednio umieszczonego na niej materiału;
- b) konwekcyjnie – czynnik grzejny obmywa materiał lub przepływa przez warstwę suszonego produktu;
- c) radiacyjnie – ogrzewanie promieniami podczerwonymi;
- d) mikrofalowo – mikrofałe indukują drgania cząsteczek wody przyczyniając się do powstania wewnętrznego źródła ciepła;
- e) dielektrycznie – prądami wielkiej częstotliwości, gdy pochłonięta przez materiał energia szybkozmennego pola elektrycznego zamienia się w energię cieplną.

*Kinetyka procesu suszenia* opisuje zmianę średniej zawartości wilgoci i średniej temperatury w czasie. Graficznie prezentują to następujące zależności przedstawione w prostokątnym układzie współrzędnych:

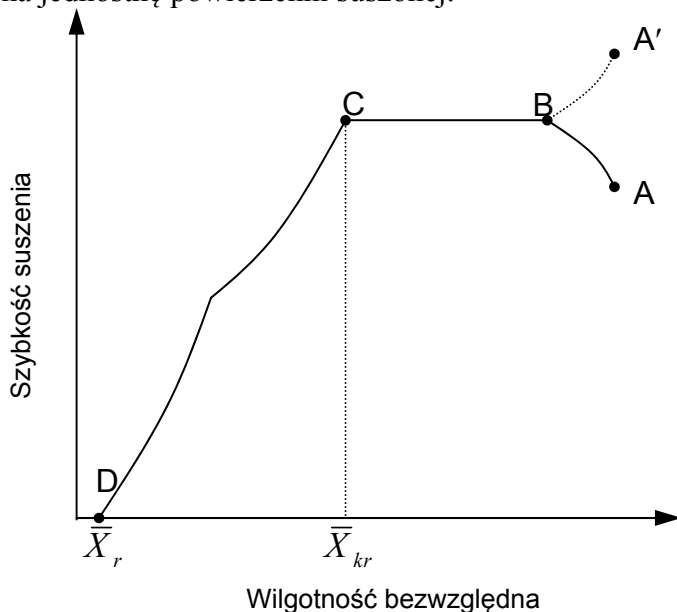
1. Krzywa suszenia;
2. Krzywa szybkości suszenia;
3. Krzywa temperaturowa suszenia.

**Krzywa suszenia** przedstawia zmiany wilgotności właściwej w czasie (rys. 1). Odcinek AB odpowiada początkowemu stadium podgrzewania materiału. BC to okres stałej szybkości suszenia charakteryzujący się liniowym spadkiem wilgotności przy stałej szybkości suszenia. C jest punktem krytycznym; za nim przebieg staje się krzywoliniowy i asymptotycznie zbliża się do równowagowej zawartości wilgoci  $\bar{X}_r$  w materiale. Poniżej punktu C następuje tzw. drugi okres suszenia.



Rys. 1. Krzywa suszenia

**Krzywa szybkości suszenia** (rys.2) przedstawia ilość wilgoci odprowadzonej z materiału suszonego w jednostce czasu na jednostkę powierzchni suszonej.

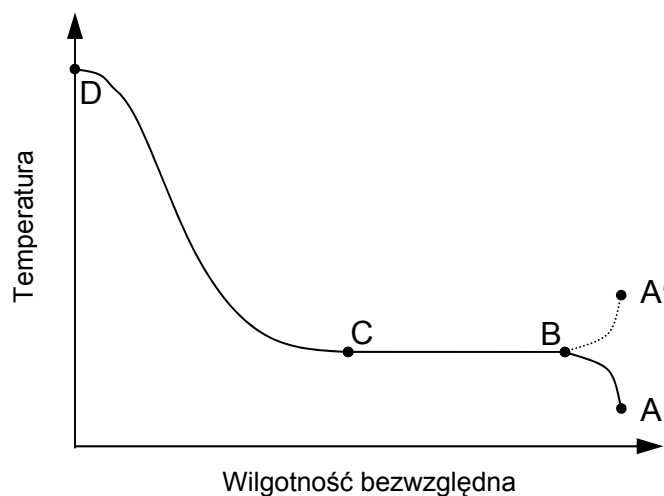


Rys. 2. Krzywa szybkości suszenia

Krzywa szybkości suszenia składa się z kilku odcinków:

- AB – Odcinek wstępnej fazy suszenia, gdy ciało suszone ma temperaturę niższą od równowagowej, szybkość suszenia wzrasta do momentu ustalenia się w komorze temperatury równowagowej;
- A'B – Odcinek wstępnej fazy suszenia, gdy ciało ma temperaturę wyższą od równowagowej, szybkość maleje aż do osiągnięcia temperatury równowagowej;
- BC – Okres stałej szybkości suszenia (pierwszy okres suszenia), który trwa do osiągnięcia krytycznej zawartości wilgoci w materiale  $\bar{X}_{kr}$ ;
- CD – Okres malejącej szybkości suszenia (drugi okres suszenia).

**Krzywa temperaturowa suszenia** obrazuje zmiany temperatury materiału suszonego w zależności od zawartości wody (rys. 3). Na tym wykresie również można wyróżnić trzy odcinki odpowiadające okresowi podgrzewania materiału (temperatura rośnie), okresowi stałej temperatury i okresowi wzrastającej temperatury materiału.



Rys. 3. Krzywa temperaturowa suszenia

## Podstawowe definicje

Parametr	Definicja	Wzór
Szybkość suszenia $w$	ilość wilgoci odprowadzonej z materiału suszonego w jednostce czasu i na jednostkę powierzchni suszonej	$w = -\frac{m_{sm} d\bar{X}}{A d\tau} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}} \right]$
Wilgotność względna $\bar{x}$	zawartość cieczy w materiale wilgotnym	$\bar{x} = \frac{m_w}{m_{wm}} \left[ \frac{\text{kg cieczy}}{\text{kg wilg. mat.}} \right]$
Wilgotność właściwa, $\bar{X}$ (bezwzględna, zawartość wilgoci)	stosunek masy wilgoci do masy suchego materiału	$\bar{X} = \frac{m_w}{m_{sm}} \left[ \frac{\text{kg cieczy}}{\text{kg such. mat.}} \right]$
Porowatość, $\varepsilon$	stosunek objętości porów materiału wilgotnego do objętości całkowitej próbki	$\varepsilon = \frac{V_p}{V_c} \left[ \frac{\text{m}^3 \text{ porów}}{\text{m}^3 \text{ mat.}} \right]$

## II. Wykonanie ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest analiza kinetyki suszenia konwekcyjnego wybranego materiału. Ćwiczenie należy wykonać następująco:

1. Włączyć suszarkę, ustawić zadaną temperaturę suszenia i zapisać ją w tabeli raportu. Poczekać do momentu nagrzania się suszarki.
2. Zważyć puste naczynko suszarnicze.
3. Przygotować próbkę, zmierzyć jej średnicę.
4. Wyłączyć suszarkę, umieścić suszony materiał w naczynku i zważyć je. Włączyć suszarkę.
5. Okresowo (początkowo co 5, później co 10 minut) ważyć naczynko z próbką, wyłączając suszarkę na moment ważenia.

## IV. Instrukcje do sprawozdania

Polecenia do sprawozdania:

1. Wypełnić raport z wykonania ćwiczenia.
2. Wykreślić zależności:
  - szybkość suszenia w funkcji wilgotności bezwzględnej,
  - wilgotność bezwzględna w funkcji czasu.
3. Na podstawie wyników pomiarów i obliczeń, wyciągnąć wnioski odpowiadając na pytania:
  - czy występują okresy suszenia (rys. 2), jaki jest ich czas trwania?
  - jaka jest szybkość pierwszego okresu suszenia?
  - czy możliwe jest wyznaczenie wilgotności krytycznej materiału, ile ona wynosi?

## V. Literatura

1. Strumiłło Cz.: *Podstawy teorii i techniki suszenia*. WNT, Warszawa 1983, s. 50-57.
2. Serwiński M.: *Zasady inżynierii chemicznej i procesowej*. WNT, Warszawa 1976, s. 535-554.
3. Lewicki P.: *Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu chemicznego*. WNT, Warszawa 1999, s. 359-393.