

Właściwości dyfuzyjne. Wilgotność

6.1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zdobycie umiejętności określania wilgotności materiałów biologicznych oraz wyjaśnienie mechanizmów wymiany masy na przykładzie procesu suszenia.

6.2. Wstęp teoretyczny:

6.2.1 Dyfuzja – wiadomości podstawowe

Dyfuzja jest to proces bezładnego ruchu cząstek w mieszaninie gazów, cieczy lub ciał stałych prowadzący do ujednorodnienia się stężeń składników. Dzieli się na **dyfuzję stężeniową**, **ciśnieniową** oraz **wymuszoną**. Dodatkowo do dyfuzji zalicza się także zjawisko dyfuzji cieplnej (patrz wstęp do ćwiczenia nr 5).

Do najbardziej powszechnych w przyrodzie zjawisk dyfuzyjnych należą dyfuzja masy oraz dyfuzja ciepła. Dyfuzji ciepła poświęcone było ćwiczenie nr 5, więc uwaga niniejszego rozdziału skupi się na dyfuzji masy, a ściślej rzecz ujmując - na migracji wody podczas procesu suszenia i rehydracji, jako jej przykładzie.

Z punktu widzenia przetwórstwa materiału biologicznego, jego właściwości dyfuzyjne mają niezwykle istotne znaczenie zwłaszcza w takich procesach jak: suszenie, destylacja, ekstrakcja, absorpcja, zagęszczanie, rozdział czy krystalizacja.

Omawiając dyfuzję masową nie sposób nie wspomnieć o stanie równowagi między-fazowej, który decyduje o tym że na granicy tych faz wynikowy ruch masy jest równy zeru. Dopiero zakłócenie tego stanu powoduje powstanie strumienia dyfuzji pomiędzy tymi ośrodkami.

6.2.2 Prawa Ficka

Zjawisko dyfuzji masy opisują prawa Ficka, który powiązał zjawisko dyfuzji z procesem wyrównywania się stężeń. Pierwsze z jego praw odnosi się do ustalonej w czasie migracji cząstek, pomiędzy dwoma ośrodkami, zaś jego zapis wygląda następująco:

$$J_A = D_{AB} \cdot \frac{dC_A}{dz} \quad (29)$$

gdzie: J_A – strumień dyfuzji cząstek ośrodka A w kierunku ośrodka B [kg/(m²·s)]
 D_{AB} – współczynnik dyfuzji charakterystyczny dla danej pary ośrodków [m²/s]
 C_A – stężenie cząstek składnika A w jednostce objętości [kg/m],
 z – droga dyfuzji [m],

Drugie prawo Ficka charakteryzuje przepływ cząstek składnika A do składnika B w warunkach nieustalonych w czasie. Jego postać matematyczną stanowi formuła (21):

$$\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{AB} \cdot \frac{dC_A}{dz} \right) \quad (30)$$

gdzie: τ – czas [s],

Współczynnik dyfuzji, zaproponowany przez Ficka, zwany także **dyfuzyjnością**, podobnie jak współczynnik wnikania ciepła z ćwiczenia nr 5 (choć oba mają zupełnie różny sens fizyczny) jest fizyczną wielkością właściwą konkretnej parze ośrodków, będących w konkretnym stanie.

Opis większości zjawisk, spotykanych w przyrodzie oraz przetwórstwie materiałów biologicznych, zaspokaja analiza dyfuzji jednokierunkowej na granicy faz, rzadziej – trój-kierunkowej w ich obrębie.

6.2.3 Proces dyfuzji wody

Migracja wody z materiału do jego otoczenia, ma miejsce dzięki istnieniu różnicy pomiędzy ciśnieniem cząsteczkowym pary wodnej, panującym w obrębie materiału oraz tym panującym w otoczeniu – jest to zatem dyfuzja ciśnieniowa. Gdy różnica ta jest równa zeru, wypadkowa migracja wilgoci również ma taką wartość (mamy wówczas do czynienia z **równowagową zawartością wody**). Gdy natomiast ciśnienie cząsteczkowe pary wodnej w jednym z tych obszarów jest wyższe niż w drugim to z tego obszaru następuje transport wilgoci do obszaru o niższym ciśnieniu cząsteczkowym pary wodnej. Wynika z tego, że w zależności od relacji tych ciśnień, materiał będzie ulegał suszeniu, nawilgacaniu, lub trwał będzie w stanie równowagi suszarniczej. Procesem dającym efekt odwrotny do procesu suszenia jest proces **rehydracji**, który ma na celu zwiększenie zawartości wody w osuszonym uprzednio materiale.

6.2.4 Wyznaczanie wilgotności materiałów biologicznych

Najbardziej rozpowszechnioną metodą wyznaczania wilgotności materiałów, jest metoda suszarkowa, która jest prosta w wykonaniu i dość dokładna. Niestety jej wadą jest czas trwania oznaczenia (godzina – w przypadku suszenia próbki powietrzem o temperaturze 130°C; trzy godziny – w przypadku użycia powietrza o temperaturze 110°C) oraz całkowite zniszczenie próbki w przypadku większości materiałów biologicznych (natomiast zaletą duża dokładność o ile precyzyjnie przeprowadzi się pomiar).

Bez względu na metodę oznaczania, wartość wilgotności przedstawiana jest w procentach i odpowiada stosunkowi masy wilgoci zawartej w materiale, do masy całego materiału, w którego skład wchodzi masa wilgoci i masa suchej substancji.

$$W = \frac{m_w}{m_{mw}} \cdot 100 \quad (31)$$

Przy czym: $m_{mw} = m_{ss} + m_w$ (32)

gdzie: W – wilgotność materiału [%],
 m_w – masa wody zawartej w materiale [g],
 m_{mw} – masa materiału wilgotnego [g],
 m_{ss} – masa suchej substancji materiału [g],

Poza procentowym współczynnikiem wilgotności, powszechnie używa się również współczynnika zawartości wilgoci, który niesie niemal tę samą informację co współczynnik procentowy, jednak wyznaczany jest w nieco odmienny sposób:

$$u = \frac{m_w}{m_{ss}} \quad (33)$$

gdzie: u – zawartość wody w materiale [g_{wody}/g_{ss}],

Naturalnie, w prosty sposób można jeden z tych współczynników przeliczyć na drugi, w zależności od tego, którego z nich potrzebujemy, np:

$$u = \frac{W}{100 - W} \quad (34)$$

Susząc materiał biologiczny i ważąc go jednocześnie, można śledzić proces migracji wody i mierzyć jej ubytki w czasie. Pozwala to na wykreślenie tzw. krzywej suszarniczej, będącej wykresem zawartości wilgoci w funkcji czasu ($u=f(t)$), która niesie ze sobą niezwykle dużo informacji na temat kinetyki procesu suszenia danego materiału. W celu lepszego porównania wielu takich krzywych przedstawionych na jednym wykresie wyznacza się tzw. **zredukowaną zawartość wody**:

$$U = \frac{|u(\tau) - u_0|}{|u_R - u_0|} \quad (35)$$

gdzie: u_0 – zawartość początkowa wody w materiale [g_{wody}/g_{ss}],
 u_R – zawartość równowagowa wody w materiale [g_{wody}/g_{ss}],

6.3. Instrukcja wykonania pomiarów:

- Przygotować dwie próbki ciasta dostarczonego przez prowadzącego, oraz ogrzać wodę do osiągnięcia temperatury 20°C.
- Dodatkową porcję ciasta rozdrobnić do trzech tygli pomiarowych o znanej masie (wraz z wieczkami) i zważyć powstałe w ten sposób próbki, które następnie umieścić w suszarce rozgrzanej do 130°C, notując godzinę.
- Wytarować wagę przy użyciu stalowego uchwyty następnie w uchwyt uzbroić pierwszą z próbek, zważyć ją „na sucho”, zanurzyć w wodzie i zważyć ponownie wyniki notując.
- Umieścić próbkę w kąpielu wodnej uruchamiając pomiar czasu.
- Co 2 minuty wyciągać próbkę z wody, ocierać ręcznikiem papierowym i ważyć z dokładnością do 0,01 g. Zakończyć pomiar po 24 minutach.
- Do użytej poprzednio wody dosypać odpowiednią ilość chlorku sodu (NaCl – sól kuchenna) tak by zyskać roztwór o stężeniu 10% i powtórzyć ostatnie 3 kroki.
- Po upływie godziny od umieszczenia tygli z próbkami w suszarce wyciągnąć je i pozostawić do ostudzenia w eksykatorze, po czym je zważyć. Na podstawie pomiarów , wyznaczyć wilgotność początkową materiału. Następnie wyznaczyć
- Sporządzić wykres zależności pomiędzy zawartością wilgoci w obu materiałach a czasem suszenia.

6.4. Wyniki pomiarów i obliczeń:

Tabela 6.1:

Wyznaczanie wilgotności i zawartości wody		Jednostka	Numer próbki (i)										
			1	2	3								
m_t – masa tygla z wieczkiem		[g]											
m_{pw} – masa próbki wilgotnej w tyglu z wieczkiem		[g]											
m_{t+ps} – masa tygla z wysuszoną próbką		[g]											
W – początkowa średnia wilgotność materiału		[%]											
u – początkowa średnia właściwa zawartość wody		$[g^{(H_2O)}/g^{(SM)}]$											
Rehydracja próbki nr 1 (woda)													
Nr pomiaru	Jednostka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
τ - czas pomiaru	[min]												
m_{pi} – masa próbki	[g]												
m_{wi} – masa wody w próbce	[g]												
u_i – zawartość wody	[g/g]												
U_i – zredukowana zawartość wody	[-]												
Rehydracja próbki nr 2 (10% NaCl)													
Nr pomiaru	Jednostka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
τ - czas pomiaru	[min]												
m_{pi} – masa próbki	[g]												
m_{wi} – masa wody w próbce	[g]												
u_i – zawartość wody	[g/g]												
U_i – zredukowana zawartość wody	[-]												

6.5. Wnioski:

.....

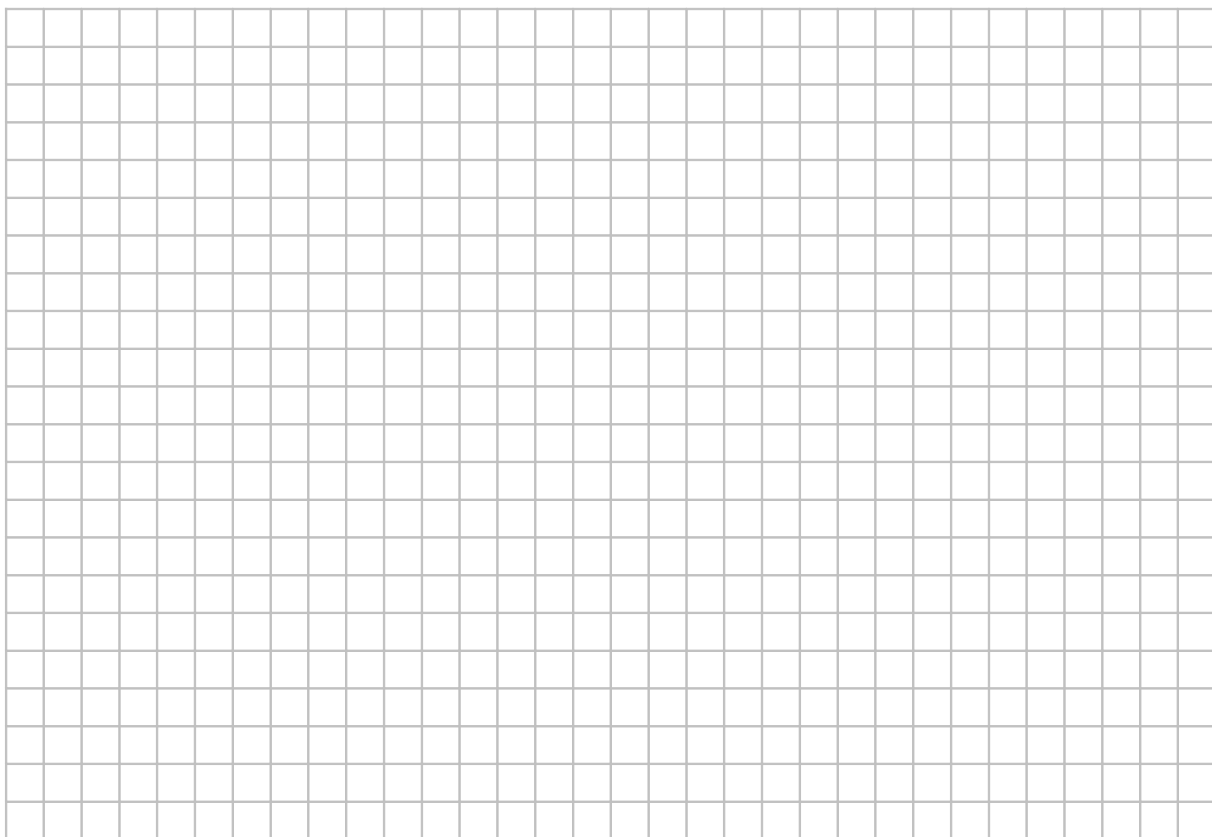
.....

.....

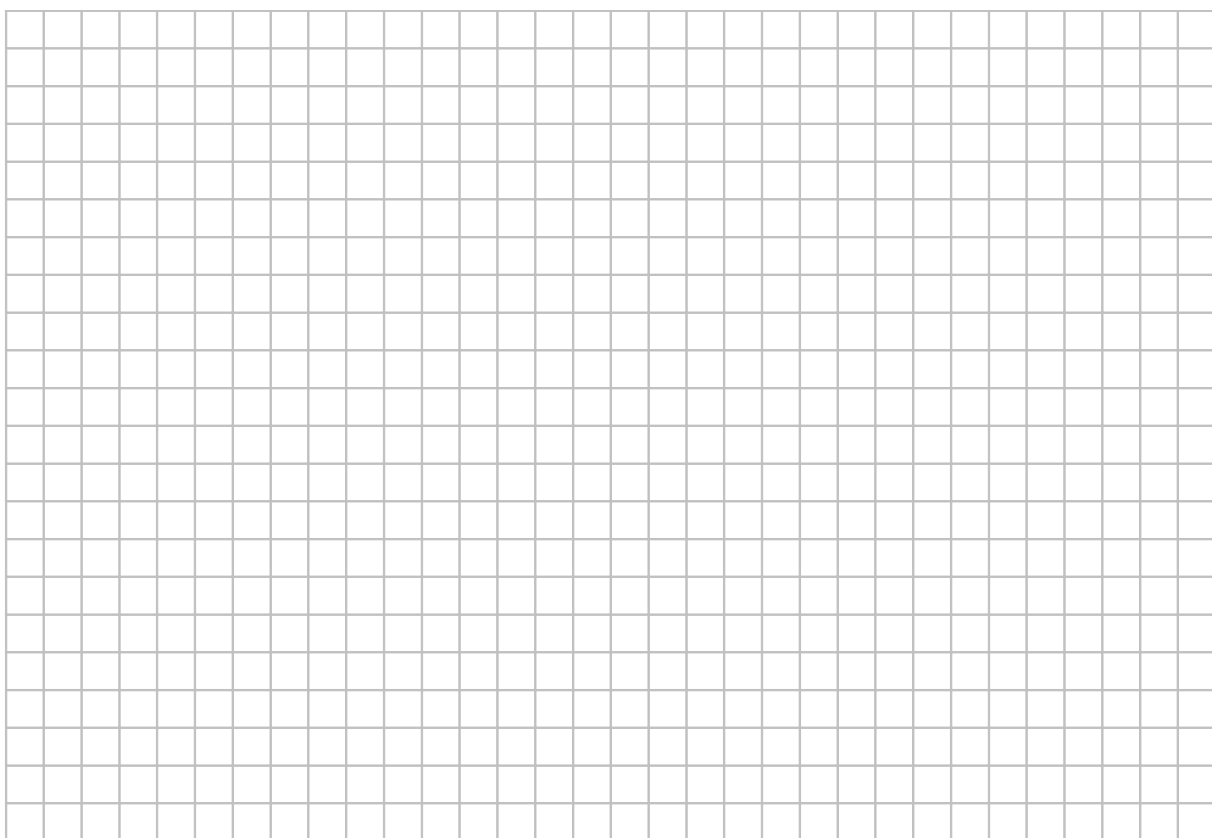
.....

.....

6.6. Wykresy



Rys.6.2: Wykres zmian zawartości wody w próbkach w czasie rehydracji: $u = f(\tau)$.



Rys.6.3: Wykres zmian zredukowanej zawartości wody w czasie: $U = f(\tau)$.