

Odsalanie powierzchni zabytkowych wypraw

Jan Kubik¹, Andrzej Kucharczyk²

Katedra Fizyki Materiałów, Wydział Budownictwa, Politechnika Opolska,
e-mail: ¹j.kubik@po.opole.pl, ²a.kucharczyk@po.opole.pl

Streszczenie: W referacie wykonano wstępne badania odsalania z wykorzystaniem okładów z ligniny, często stosowanych w konserwacji obiektów zabytkowych. Zaproponowano metodykę szacowania efektywności tych zabiegów z wykorzystaniem modelu przepływów przypowierzchniowych.

Słowa kluczowe: odsalanie, przepływy jonowe, wysychanie, wilgoć

1. Wprowadzenie

Wykwit soli na powierzchniach zabytkowych polichromii stanowią najczęstszą przyczynę ich zniszczeń. Problem dotyczy większości zabytkowych tynków i sztukaterii w obiektach z różnych epok kulturowych.

W niniejszej pracy przeanalizowano kinetykę odsalania powierzchni polichromii w wyniku zastosowania okładów z wilgotnej ligniny. Tak postawiony problem powinien stanowić punkt odniesienia do oceny szybkości i efektywności procesów odsalania polichromii.

2. Równania przypowierzchniowych przepływów

W pierwszej kolejności przeanalizowano proces swobodnego wysychania wierzchniej warstwy polichromii. W tym przypadku oprócz przypowierzchniowej warstwy polichromii uwzględniono również nasycone porami otoczenie powierzchni, które stanowi kolejną warstwę. Do powierzchni dopływa roztwór jonów (woda $\alpha = w$ wraz z jonami soli $\alpha = j$), który na niej ulega zobojętnieniu na sól ($\alpha = s$), a do otoczenia odparowuje para wodna. Proces opisuje układ parcjalnych bilansów masy

$$\frac{dC^\alpha}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial j^\alpha}{\partial x} = R^\alpha, \quad \alpha = w, j, s \quad (1)$$

który po uśrednieniu w warstwie β prowadzi do równania [1]

$$\int_{A^\beta} \left[\Delta_\beta \left(\frac{d\bar{C}_\beta^\alpha}{dt} - \bar{R}_\beta^\alpha \right) + \frac{1}{\rho} \left(j_\beta^{\alpha+} - j_\beta^{\alpha-} \right) n_x \right] dA = 0 \quad (2)$$

Sumując powyższe równanie dla wszystkich warstw

$$\int_{A^\beta} \left[\sum_\beta \Delta_\beta \left(\frac{d\bar{C}_\beta^\alpha}{dt} - \bar{R}_\beta^\alpha \right) - \frac{1}{\rho} j_0^{\alpha-} n_x \right] dA = 0 \quad (3)$$

otrzymano

$$\Delta \left(\frac{d\bar{C}^\alpha}{dt} - \bar{R}^\alpha \right) - \frac{1}{\rho} j_0^{\alpha-} n_x = 0 \quad (4)$$

gdzie
$$\frac{d\bar{C}^\alpha}{dt} = \frac{1}{\Delta} \sum_{\beta} \Delta_{\beta} \frac{d\bar{C}_{\beta}^\alpha}{dt}, \quad \bar{R}^\alpha = \frac{1}{\Delta} \sum_{\beta} \Delta_{\beta} \bar{R}_{\beta}^\alpha.$$

Wprowadzając natomiast równanie fizyczne na strumień przejmowania masy przez otoczenie w postaci

$$j_0^{\alpha-} n_x = -k^\alpha \frac{C_0^{\alpha+} - C_0^{\alpha-}}{\delta_0} n_x = -K^\alpha n_x \quad (5)$$

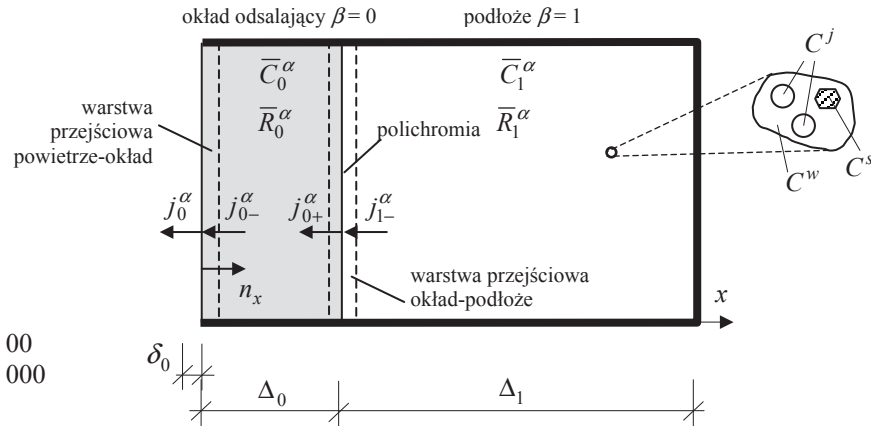
do równania (3) i całkując po czasie uzyskano zależność na rozkład stężeń w pierwszym, przypowierzchniowym etapie wysychania ściany i tworzeniu się wykwitów na jego powierzchni

$$\bar{C}^\alpha - \bar{C}^\alpha(t=0) = \int_0^t \left[\bar{R}^\alpha - \frac{K^\alpha}{\rho \Delta} n_x \right] dt \quad (6)$$

Podany rozkład stężeń wilgoci na powierzchni wyprawy porównywano z rozkładem stężeń w układzie wyprawa-lignina. Na tej podstawie istnieje możliwość oszacowania współczynników kinetyki procesu.

3. Przepływy w kontakcie okład-polichromia

Przepływy roztworów soli w kontakcie okład odsalający z powierzchnią polichromii są podobne do podanych w poprzednim punkcie z tym, że dochodzi do dodatkowego przepływu przez nasycony wilgocią okład (rys. 1). W efekcie od powierzchni polichromii wilgoć przenika do okładu, gdzie osadza się sól ($R_0^s \neq 0$) a uwolniona wilgoć dyfunduje na zewnątrz okładu do otoczenia.



Rys. 1. Model procesu

Oczywiście proces wysychania jest wolniejszy niż przy swobodnym odparowaniu z powierzchni polichromii. Proces transportu wilgoci opisuje parcyjny bilans masy (rów. (3)), w którym źródło masy jest zerowe

$$\int_{A^\beta} \left[\sum_{\beta} \Delta_{\beta} \frac{d\bar{C}_{\beta}^w}{dt} - \frac{1}{\rho} j_0^{w-} n_x \right] dA = 0 \quad (7)$$

lub po rozpisaniu dla układu dwuwarstwowego okład-podłoże

$$\Delta_0 \frac{d\bar{C}_0^w}{dt} + \Delta_1 \frac{d\bar{C}_1^w}{dt} - \frac{1}{\rho} j_0^{w-} n_x = 0 \quad (8)$$

Wprowadzając natomiast równanie fizyczne na strumień masy, ograniczając przy tym rozważania do wstępnego okresu wysychania, tzn. kiedy prędkość wysychania jest stała, uzyskujemy stałą w czasie wartość strumienia masy

$$j_0^{w-} n_x = -k^w \frac{C_0^{w+} - C_0^{w-}}{\delta_0} n_x = -K^w n_x \quad (9)$$

W przypadku pierwszego etapu wysychania zachodzić będzie równość zmian w czasie dla wszystkich warstw tj. $\frac{d\bar{C}_0^w}{dt} = \frac{d\bar{C}_1^w}{dt}$. Zależność ta jest słuszna w przypadku, gdy wilgoć odparowuje wyłącznie z części przypowierzchniowej materiału. W takim przypadku, w tych partiach materiału istnieją duże gradienty wilgoci a w części środkowej gradienty są pomijalnie małe. Wykorzystując tę zależność otrzymano

$$\frac{d\bar{C}_0^w}{dt} = -\frac{K^w n_x}{\rho(\Delta_0 + \Delta_1)} \quad (10)$$

W konsekwencji zmiany stężeń dotyczące pierwszego, wstępnego okresu wysychania powierzchni przyjmują postać

$$\bar{C}^w = \frac{1}{\Delta_0 + \Delta_1} (\bar{C}_0^w \Delta_0 + \bar{C}_1^w \Delta_1) = -\frac{K^w n_x}{\rho(\Delta_0 + \Delta_1)} t + \bar{C}^w(t=0) \quad (11)$$

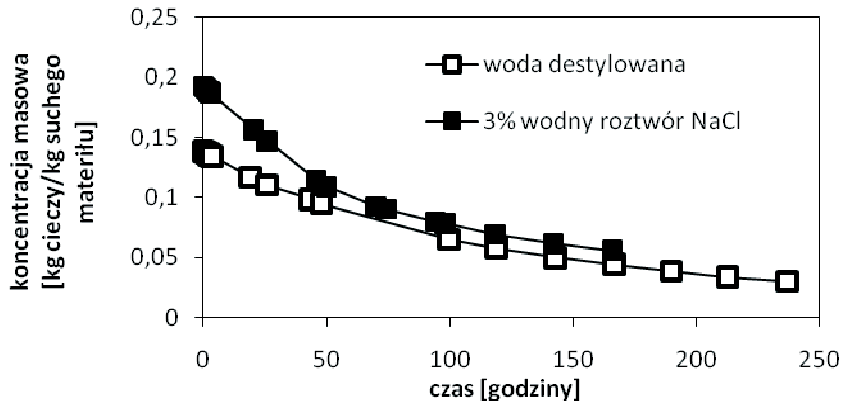
Porównując zmiany wilgoci \bar{C}^w uzyskane z badań laboratoryjnych dla samego podłoża z układem okład-podłoża można oszacować kinetykę odsalania oraz współczynniki kinetyczne K^w dla ścian obłożonych okładami. Powyższe rozważania dotyczą wyłącznie pierwszego etapu wysychania, kiedy to prędkość wysychania jest stała.

4. Badania laboratoryjne

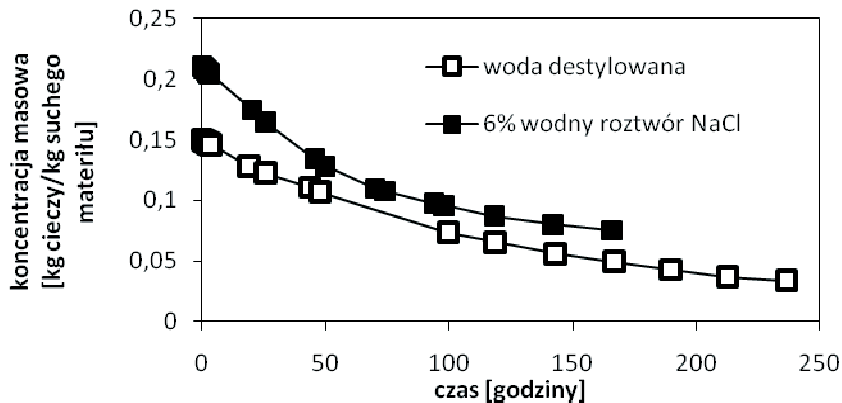
W celu zbadania efektywności odsalania przeprowadzono wstępne badania, w laboratorium KFM Politechniki Opolskiej, wykorzystując okłady z ligniny. Badaniu odsalania podlegała cegła ceramiczna. W pierwszej kolejności wyznaczono kinetykę wysychania cegły ceramicznej nasyconej wodą destylowaną, a następnie w drugim cyklu dla układu warstwowego cegła ceramiczna nasycona roztworami soli i lignina nasycona wodą destylowaną. Porównywanie tych wyników pozwala na określanie efektywności i czasu odsalania (rys. 2, 3, 4).

Metoda mokrych okładów wykorzystana w badaniu, polega na przyłożeniu do nieizolowanej ściany próbki mocno wilgotnej ligniny, przylegającej na całej powierzchni do nasyconej różnymi roztworami soli próbki ceglanej. Podczas badania lignina powinna dokładnie przylegać do ściany próbki, co zostało zapewnione przez zastosowanie odpowiednich opasek z gumy (rys. 5).

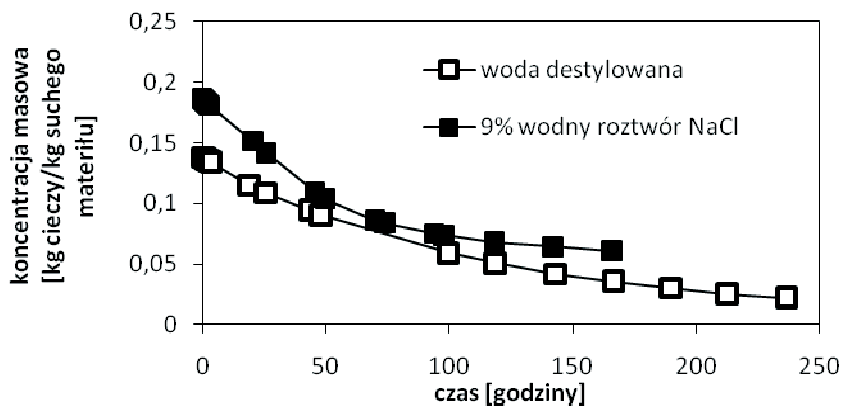
Badania polegały na pomiarze zmian masy układu nasyconego wodą destylowaną bez okładu i układu lignina-cegła w którym lignina była zwilżona wodą destylowaną a cegła była nasycona roztworami chlorku sodu w temperaturze +25°C i wilgotności względnej 35%.



Rys. 2. Kinetyka wysychania cegły ceramicznej nasyconej wodą destylowaną i układu lignina, nasyconą wodą destylowaną, z cegłą ceramiczną nasyconą 3% wodnym roztworem chlorku sodu



Rys. 3. Kinetyka wysychania cegły ceramicznej nasyconej wodą destylowaną i układu lignina, nasyconą wodą destylowaną, z cegłą ceramiczną nasyconą 6% wodnym roztworem chlorku sodu



Rys. 4. Kinetyka wysychania cegły ceramicznej nasyconej wodą destylowaną i układu lignina, nasyconą wodą destylowaną, z cegłą ceramiczną nasyconą 9% wodnym roztworem chlorku sodu



Rys. 5. Badany układ: okład z ligniny – cegła ceramiczna



Rys. 6. Powierzchnia próbek po procesie odsalania

5. Podsumowanie

Przeprowadzone doświadczenia pozwalają stwierdzić, iż prędkość wysychania samej ceramiki w stosunku do ceramiki z okładami jest większa. Jest to wywołane łatwiejszym odparowaniem wilgoci z powierzchni okładów niż z cegły. Nasycone próbki czystą wodą jak również układ lignina-cegła, gdzie cegła jest nasycona roztworami soli, szybko wysycha we wczesnym okresie, gdzie prędkość jest stała oraz następuje spowolnienie procesu wysychania w późniejszym etapie.

Zastosowana metoda odsalania pozwala na częściowe oczyszczenie ceramiki budowlanej. O pozostałości soli świadczy nie tylko uzyskana masa, ale przede wszystkim wykwyty solne na próbkach po całkowitym ich wysuszeniu (rys. 6).

Spis oznaczeń

- ρ – gęstość szkieletu,
- α – składnik mieszaniny (woda $\alpha = w$, jony soli $\alpha = j$, wykrystalizowana sól $\alpha = s$)
- C^α – koncentracja składnika α ,
- \bar{C}_β^α – uśredniona koncentracja składnika α w warstwie β ,
- R^α – źródło masy składnika α ,
- \bar{R}_β^α – uśrednione źródło masy składnika α w warstwie β ,
- j^α – strumień masy składnika α ,
- δ – grubość warstwy przypowierzchniowej,
- Δ_β – grubość warstwy β ,
- K^α – współczynnik kinetyczny składnika α ,
- A – powierzchnia,

- n_x – wektor normalny do powierzchni x ,
 t – czas,
 x – współrzędna przestrzenna.

Literatura

- 1 Kubik, J., Kucharczyk, A.: Ogólne własności przepływów przypowierzchniowych, Roczniki Inżynierii Budowlanej, no. 9, 45-53 (2009)

The desalination of historical painted surface

Jan Kubik¹, Andrzej Kucharczyk²

*Department of Materials Physics, Faculty of Civil Engineering, Opole University of Technology,
e-mail: ¹j.kubik@po.opole.pl, ²a.kucharczyk@po.opole.pl*

Abstract: In the paper the preliminary laboratory tests of desalination with the use of lignin poultices were made, often utilized in the maintenance of monumental buildings. In addition, the method of determining of the desalination efficiency was also proposed.

Keywords: desalination, ions flows, drying, moisture