

# Dynamika podciągania kapilarnego w murach budowlanych

Dr inż. Abdrahman Alsabry, Instytut Budownictwa, Uniwersytet Zielonogórski

## 1. Wprowadzenie

Długotrwałe użytkowanie budynków narażonych na oddziaływanie niekorzystnych warunków ciepło-wilgotnościowych oraz zastosowanie wadliwych rozwiązań warstw izolacyjnych prowadzi do degradacji obiektów budowlanych. Trwałość materiałów budowlanych zależy od ich

się do suchych partii muru powodując ich uszkodzenie w wyniku krystalizacji soli oraz działania zróżnicowanych temperatur.

Głównymi źródłami zawilgocenia są:

- wody gruntowe,
- wody opadowe,
- wody z tzw. rozprysków,
- zawilgocenia wewnętrzne w wyniku kondensacji pary wodnej,

niają one wilgoć z otoczenia (rys. 3). W Europie najczęściej występującymi rodzajami soli są: siarczany, azotany i chlorki metali alkalicznych. Precyzyjne proporcje tych soli zależą od minerałów zawartych w wodach gruntowych w danym regionie.

## 3 Fizyczne wyjaśnienie zjawiska podciągania kapilarnego

W materiałach budowlanych rolę klasycznych rurek włosowatych spełniają pory i kapilary oraz przestrzenie wokół styku ziaren. Jeśli pory i kapilary mają dostatecznie małe średnice, a w przypadku drobnego uziarnienia przestrzenie między ziarnami są również małe, występuje zjawisko podciągania. Zjawisko podciągania kapilarnego występuje do momentu zrównoważenia ilości wody podciąganej i wody odparowywanej przez powierzchnię materiałów. Wysokość podciągania jest odwrotnie proporcjonalna do średnicy porów i kapilar. Większość materiałów budowlanych to materiały porowate charakteryzujące się siecią naczyń włosowatych (kapilar), które mogą podciągać wodę. Naczynia włosowate obecne w cegle, zaprawie i niektórych kamieniach naturalnych powodują podciąganie wody w wewnętrznych strukturach tych materiałów w przypadku ich kontaktu z wilgotnym podłożem.



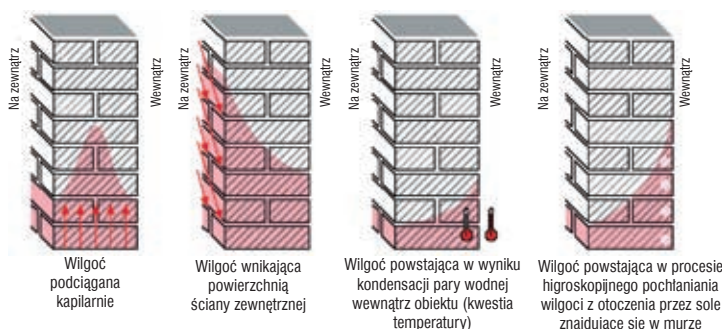
**Rys. 1.**  
Podciąganie kapilarne i związane z nim wykwyty solne

budowy, która przy udziale wilgoci i znakozmiennych temperatur prowadzi do nieuchronnej ich destrukcji [1]. Podciąganie kapilarne jest zjawiskiem powszechnym w starych budynkach, szczególnie tych, w których nie występuje pozioma izolacja przeciwwilgociowa [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. W wielu krajach europejskich problem podciągania kapilarnego został zauważony już w XIX w. Widocznymi skutkami podciągania kapilarnego jest występująca wilgoć w dolnych partiach muru, czasami nawet do 1,5 m wysokości, często przybierająca formę poziomych zawilgoczeń. W przypadku silnych zawilgoczeń występują widoczne wysolenia, szczególnie w górnej części pasa wilgoci. Wysolenia te mają charakter higroskopijny i mogą powodować absorpcję wody bezpośrednio z otoczenia (rys. 1).

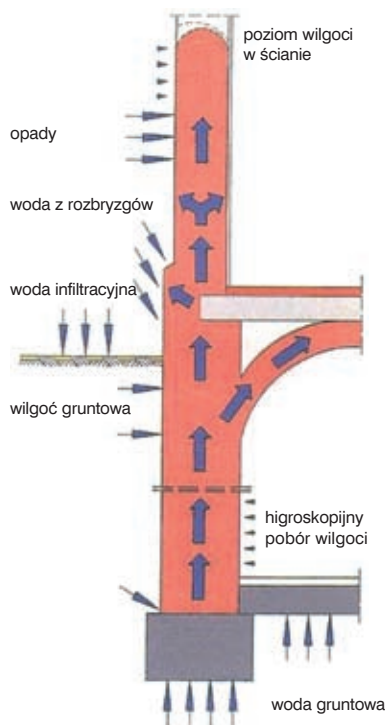
– zawilgocenia higroskopijne,  
– wody rozproszone. Rysunek 2 ilustruje pochodzenie zawilgocenia w murze w zależności od przyczyny jego powstania [11]. Pomimo, że podciąganie kapilarne jest głównym źródłem zawilgocenia ściany, to dodatkowa wilgoć jest również wprowadzana do muru poprzez występujące w nim zasolenie. Jest to spowodowane higroskopijnością soli, która przez wiele lat była wprowadzana do struktury muru wraz z zanieczyszczoną wodą gruntową. Higroskopijne sole pozostają w murze podczas odparowywania wody, jednakże dalej pochła-

## 2. Źródła zawilgoczeń obiektów budowlanych

Wilgoć w strukturze muru, na skutek podciągania kapilarnego, przedostaje



**Rys. 2.**  
Rozkład wilgoci w murze w zależności od przyczyny jej powstania [11]



**Rys. 3.** Poziom wilgoci w ścianie

Ten proces podciągania wody jest określany jako „kapilarność”. Najprostszym przepływem wilgoci w materiałach budowlanych jest podciąganie kapilarne. Wynika ono z istnienia nierównoważonych sił powierzchniowych.

Proces podciągania kapilarnego kończy się w chwili, kiedy wypadkowa sił powierzchniowych  $P$  jest równa ciężarowi  $Q$  podniesionego słupa wody w kapilarze na wysokość  $h$  względem zwierciadła wody [6].

Równowagę sił w kapilarze określa więc równanie

$$P - Q = 0 \quad (1)$$

gdzie: ciężar  $Q$  wyrażony jest relacją

$$Q = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot h \cdot \rho_w \cdot g \quad (2)$$

Natomiast siłę  $P$  można wyrazić za pomocą napięcia powierzchniowego wody  $\sigma$  i kąta zwilżenia  $\alpha$ , tzn.

$$P = \pi \cdot d \cdot \sigma \cdot \cos \alpha = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h \cdot \rho_w \cdot g \quad (3)$$

a stąd wyznaczamy wysokość podciągania  $h$  i ciśnienie  $p$  w kapilarze

$$h = \frac{4\sigma \cdot \cos \alpha}{\rho_w \cdot g \cdot d}, \quad p = \frac{4\beta}{\pi \cdot d^2} = \frac{4\sigma \cdot \cos \alpha}{d} \quad (4)$$

Natomiast w pracy [12, 13] proponowano, że maksymalna wysokość podciągania wody w kapilarach  $h$  [m] może być wyrażona poprzez równanie:

$$h = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \theta}{r \cdot \rho \cdot g} \quad (5)$$

gdzie:

$\gamma$  – napięcie powierzchniowe wody [N/m<sup>2</sup>],

$\theta$  – kąt zwilżenia,

$r$  – promień porów kapilarnych [m],

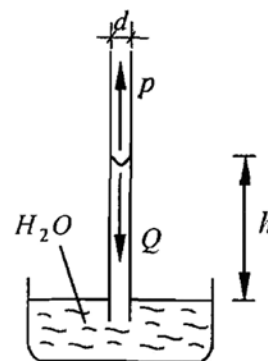
$\rho$  – gęstość wody (cieczy) [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  – przyspieszenie ziemskie (siła grawitacji) [m/s<sup>2</sup>].

Ze wzoru (5) wynika, że wysokość podciągania kapilarnego jest tym większa, im mniejszy jest umowny promień kapilary.

Podciąganie kapilarne decyduje o szybkości wysychania materiału przez odparowanie powierzchniowe (jako czynnik podstawowy); wysychanie materiałów odbywa się ponadto na drodze dyfuzji pary. Aby odparowanie powierzchniowe było zjawiskiem ciągłym, musi się odbywać stały dopływ wody z wnętrza materiału na drodze kapilarnej. Równomierność rozkładu wilgoci w materiale jest kształtowana przez zdolność podciągania (rys. 2).

Z analizy powyższej zależności (5) wynika, że wielkości  $\gamma$ ,  $g$ ,  $\rho$  są stałe i niezależne. Równanie (1) pokazuje, że wysokość podciągania kapilarnego jest wprost proporcjonalna do kąta zwilżenia (rodzaju cieczy) i odwrotnie proporcjonalna do średnicy kapilary (wielkości porów). Ograniczenie wysokości podciągania kapilarnego  $h$  można osiągnąć jedynie przez zmianę przekroju kapilary  $r$  lub zwiększenie kąta zwilżenia  $\theta$  poprzez hydrofobizację zarówno struktury, jak i powierzchni muru. Wstawiając do powyższego równania (5) różne wielkości okazało się, że kiedy wielkość porów wynosi 0,1 mm, woda może być podciągnięta do wysokości 14 cm, ale gdy wielkość porów spada do 0,01 mm, podciąganie kapilarne może dojść do wysokości 1,4 m. Wielkości porów w ceglach i zaprawie mogą wynosić nawet 0,001 mm, istnieje więc duże prawdopodobieństwo występowania zjawiska podciągania kapilarnego w tego rodzaju materiałach [12]. Intensywność



**Rys. 4.** Podciąganie kapilarne [12]



**Rys. 5.** Krystalizacja soli na powierzchni ściany ceglanej pokrytej warstwą gipsowego tynku [12]

zjawiska podciągania kapilarnego jest pochodną równowagi pomiędzy wydajnością pochłaniania wody przez mur a efektywnością parowania dyfuzyjnego.

#### 4. Stopień odparowywania wody w murach

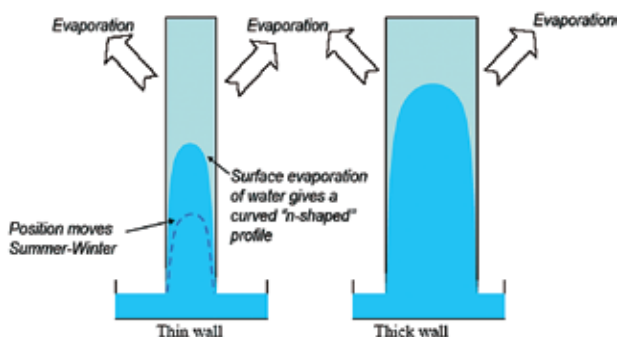
Stopień odparowywania wody zależy od kilku czynników, takich jak:

- temperatura,
- wilgotność,
- ruchy powietrza oraz
- rodzaj powierzchni (sposób wykończenia ściany – farba, tapeta itp.).

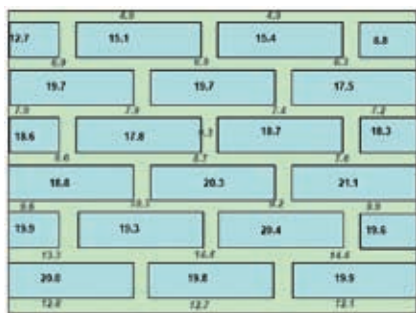
Równowaga tych czynników oznacza, że zawilgocenie ściany wzrasta w zależności od jej grubości.

Grube mury charakteryzują się większą chłonnością wody z gruntu i stosunkowo niewielką ilością wody odparowywanej z powierzchni, co wpływa na wysokość podciągania kapilarnego.

W artykule [14] Christopher Hall i William Hoff próbują rozstrzygnąć jakie czynniki mają największy wpływ na wzrost podciągania kapilarnego i podejmują się próby zapisania



**Rys. 6.**  
Równowaga między podciąganiem kapilarnym i odprowadzeniem wilgoci [12]



**Rys. 7.** Rozprzestrzenianie się wody w murze ceglany. Do budowy została użyta porowata zaprawa. Wielkości podane w diagramie oznaczają ilości wody mierzone procentowo w stosunku do masy cegły/zaprawy [15]

równania, które pozwoli przewidzieć wysokość na jaką podniesie się wilgoć w ścianach (wzór 6), gdzie:

$$H = S \left[ \frac{\text{grubość muru}}{2 \cdot \text{Odprowadzanie} \cdot \text{Zawartość wilgoci}} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$H$  – wysokość występującego podciągania kapilarnego,  
 $S$  – nasiąkliwość, zasysanie wody do zaprawy.

Nasiąkliwość jest miarą zasysania wody (wchłaniania) w danym materiale i ma silny wpływ na wysokość podciągania kapilarnego w murze. Nasiąkliwość może być mierzona poprzez częściowe zanurzenie badanego materiału w wodzie i zanotowanie przyrostu jego masy w czasie, model Halla i Hoffa [14].

**5. Drogi przedostawania się wody w procesie podciągania kapilarnego**

Od dawna podejrzewano, że warstwa zaprawy to główna droga przedostawania się wilgoci podciąganej kapilarnie. Już w 1872 roku stwierdzono

w „British Medical Journal”, że: „W celu zaradzenia podciąganiu kapilarnemu cegłę porowatą zastąpiono niebieską twardą cegłą Staffordshire. Zauważono, że wilgoć wystąpiła w murze tylko w warstwach zaprawy murarskiej tworząc wzór w kratkę” [15]. Ten przypis odnosi się do faktu, iż zmiana typu cegły ma niewielki wpływ na zawilgocenie samego muru, a podciąganie kapilarne można zaobserwować w warstwach zaprawy. Ostatnio przeprowadzone badania wykazały, że warstwa zaprawy jest główną ścieżką przedostawania się wilgoci w górę muru. Dogłębna analiza wpływu właściwości zapraw na podciąganie kapilarne jest poza zakresem tego artykułu, jednakże zdjęcia mikroskopowe zaprezentowa-

wane na rysunku 8 (50-krotne powiększenie) pokazują, że struktury porów zapraw znajdujących się w murach mogą znacznie się różnić.

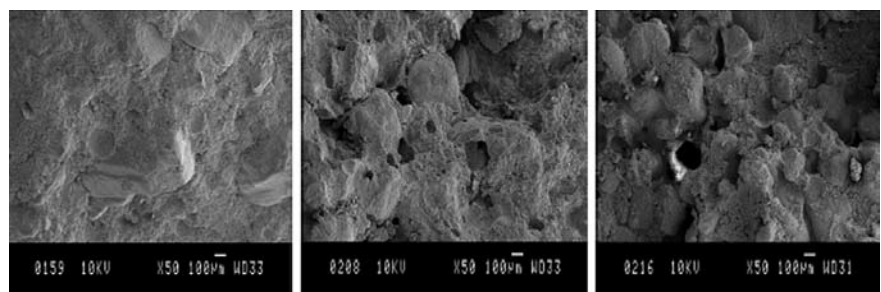
**6. Wnioski**

W związku z badaniem występujących procesów fizycznych, możliwe jest zrozumienie mechanizmu zjawia-

ska wilgoci podciąganej kapilarnie. Dzięki temu, możliwe jest wprowadzenie usprawnień w metodach ochrony przeciw podciąganiu kapilarnemu.

**BIBLIOGRAFIA**

[1] Gruszczynski M., Wereski W., Ochrona i naprawa obiektów zabytkowych z wykorzystaniem nowoczesnych systemów OXAL. Budownictwo, Czasopismo techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Zeszyt 9, 2 – B/2009  
 [2] Gawin D., Modelowanie sprzężonych zjawisk ciepłno-wilgotnościowych w materiałach i elementach budowlanych. Łódź 2000  
 [3] Rusin Z., Technologia betonów mrozoodpornych. Polski Cement Sp. z o.o. Kraków 2002  
 [4] Garbalińska H., Izotermiczne współczynniki transportu wilgoci porowatego materiału budowlanego. Szczecin 2002  
 [5] Pogorzelski J. A., Zagadnienia ciepłno-wilgotnościowe przegród budowlanych. Budownictwo ogólne, fizyka budowy, tom 2. Praca zbiorowa pod kierunkiem Klemma P., Arkady 2006  
 [6] Kubik J., Podstawy fizyki budowy. Opole 2008  
 [7] Marynowicz A., Wyrwał J., Badanie właściwości wilgotnościowych wybranych materiałów budowlanych w warunkach izotermicznych. Warszawa 2005  
 [8] Wyrwał J., Świrska J., Problemy zawilgoceń przegród budowlanych. Warszawa 1998  
 [9] Bogosłowski W. N., Procesy cieplne i wilgotnościowe w budynkach. Warszawa 1985  
 [10] Dylla A., Fizyka budowy. Bydgoszcz 1985  
 [11] Uszczelnianie budowli, Przepony poziome przed podciąganiem. Diagnostyka szkód. www.webac.pl  
 [12] Rirsch E. and Zhang Z., Rising Damp in Walls and the Importance of Mortar Properties', in press. 3 British Medical Journal, May 25th 1872, p. 558  
 [13] Mårten J., Methods of measuring the moisture diffusivity at high moisture levels. university of lund, lund institute of technology, Division of Building Materials, Lund 1997, Sweden  
 [14] Hall C. and Hoff W. D., Rising damp: capillary rise dynamics in walls – Proc. R. Soc. A 8 August 2007 vol. 463 no. 2084 1871–1884  
 [15] British Medical Journal, May 25th 1872, p. 558



**Rys. 8.** Zdjęcia pokazujące różnicę we właściwościach zapraw pochodzących z różnych budynków [12]