

# ŹRÓDŁA SOLI

## w murach i tynkach budynków



**mgr inż. Franciszek Wołoch**  
**dr inż. Mariusz Gaczek**  
Politechnika Poznańska

Często spotykaną przyczyną uszkodzeń elementów budowlanych są sole, zarówno dobrze, jak i słabo rozpuszczalne w wodzie. Charakter powodowanych solami usterek i zniszczeń jest różny, zależy bowiem od wielu czynników, takich jak: specyfika materiałów budowlanych i ekspozycja wykonanych z nich elementów, właściwości soli i ich roztworów oraz wpływy środowiskowe.

Główną przyczyną powodującą niszczenie elementów budowlanych są sole rozpuszczalne w wodzie, transportowane kapilarnie i rozprowadzane w przekroju muru. Szkodliwe działanie tych soli wynika przede wszystkim z procesów krystalizacji lub hydratacji i wytwarzania w porach materiału dużych nacisków mechanicznych na ścianki w sytuacji braku możliwości swobody zwiększania objętości odkładających się związków chemicznych. Przy krystalizacji soli z przesyconego roztworu w porach materiału budowlanego pojawia się tzw. ciśnienie krystalizacyjne, natomiast przy procesach hydratacji (przyłączania cząsteczek wody) kryształów soli znajdujących się w przestrzeni porowej występuje tzw. ciśnienie hydra-



Fot. Katarzyna Burzyńska

Szkodliwemu działaniu soli podlegają także budynki nowo wznoszone

tacyjne. Skutkiem występowania obydwu cieni przy odpowiednio dużym stopniu wypełnienia porów przez sole są zniszczenia struktury murów czy też tynków. Ponadto sole higroskopijne zwiększają zawilgocenie elementów (czasem znacząco), a klasyczne izolacje nie są skutecznym sposobem likwidacji tego typu zawilgocenia, zwanego higroskopijnym. Pod wpływem zawilgocenia higroskopijnego sole mogą ponownie się rozpuszczać i migrować w inne miejsca, powodując przy krystalizacji kolejne uszkodzenia. Sole, tlenki i wodorotlenki pojawiające się w wyniku różnych procesów na powierzchni muru albo tynku pogarszają też wygląd zewnętrzny budynku. Jeśli jednak krystaliczne osady na powierzchni ściany będą narastały, nastąpi niszczenie powłok malarskich, zapraw budowlanych tynkarskich i murarskich oraz elementów murowych, prowadzące do ich złuszczenia, kruszenia i rozpadu ziarnistego. Odpadanie warstw tynku spowoduje odsłanianie powierzchni muru i jego narażenie na bezpośrednie działanie szkodliwych czynników zewnętrznych.

Zjawisko niszczenia materiałów przez sole jest zarówno powszechne, jak i stare. Szkodliwemu działaniu soli przypisuje się chociażby pogorszenie stanu takich obiektów, jak: Angkor Wat w Kambodży, Sfinks w Egipcie czy budynki w Wenecji [1]. Niszczącemu działaniu podlegają jednak także budynki i budowle nowo wznoszone.

### Pochodzenie soli występujących w elementach budynku

Sole i związki chemiczne tworzące później sole mogą być pochodzenia naturalnego lub stanowić rezultat działalności człowieka.

Sole pochodzenia naturalnego mogą występować w pierwotnej strukturze materiałów skalnych, powstawać w wyniku naturalnego rozkładu minerałów skałotwórczych, być efektem korozji chemicznej i biologicznej kamieni naturalnych, mogą także pochodzić ze środowiska naturalnego (mórz i oceanów, pustyni, gleby) [2], [3]. Z kolei obecność soli będących rezultatem działalności człowieka może wynikać z procesów produkcyjnych i zanieczyszczeń przemysłowych, utrzymywania zwierząt gospodarskich, usuwania oraz gromadzenia odchodów i nieczystości, nawożenia gruntów i ochrony roślin, magazynowania produktów chemicznych, odładzania dróg i ulic, procesów budowlanych i konserwatorskich.

Szkodliwe związki chemiczne dostające się do murów i tynków mogą być przenoszone przez wodę (opadową działającą bezpośrednio, spływającą z powierzchni terenu, rozbryzgową, przesiąkającą, gruntową, budowlaną, użytkową, kondensacyjną, higroskopijną) i powietrze. Mogą także się znaleźć w elementach budynku w wyniku bezpośredniego wprowadzania podczas wykonywania zabiegów związanych z ochroną przeciwpożarową, a także podczas prac renowacyjnych i konserwatorskich.



Fot. Wojciech Gaczk

Rys. 1. Według rezultatów badań podanych w pracy [4] przyczyną destrukcji kompleksu Angkor Wat w Kambodży jest szkodliwe działanie soli

Biorąc pod uwagę zarówno pochodzenie soli, jak i drogi ich przenoszenia, do głównych źródeł soli występujących w elementach budynku zalicza się:

- zanieczyszczenia atmosferyczne (pochodzenia naturalnego i antropogeniczne),
- podłoże gruntowe,
- materiały i procesy budowlane,
- użytkowanie budynku,
- odładzanie dróg i ulic,
- metabolizm mikroorganizmów.

Pierwsze dwie grupy traktowane są czasem łącznie jako źródła środowiskowe.

### Środowiskowe źródła soli

Sole występujące w otoczeniu budynku mogą się znaleźć w strukturze materiałów tworzących elementy obiektu na wiele sposobów. Głównym źródłem azotanów i siarczanów są zanieczyszczenia znajdujące się w powietrzu. Nośnikami substancji szkodliwych są deszcze i wiatr. Z deszczami wiąże się głównie działanie kwasów. Drugim nośnikiem jest działanie wiatru. O ile kwaśne deszcze są problemem współczesnym, o tyle wiatr działa szkodliwie na konstrukcje od momentu, kiedy człowiek zaczął wznosić pierwsze budynki. Nie chodzi tu też wyłącznie o działanie mechaniczne, ale również o wiatr wiejący od morza lub od pustyni, który jest nośnikiem soli znajdujących się w tych środowiskach. Korelacja między działaniem soli i wiatru jest znana i opisana w literaturze. Przykładowo w pracy [5] zostały opisane badania laboratoryjne, które były ukierunkowane na wskazanie zależności między działaniem soli i wiatru na materiał porowaty. Badania były prowadzone w kontekście wyjaśnienia zjawiska powstawania tzw. plastrów miodu (ang. honeycomb) na powierzchni murów i konstrukcji kamiennych. Jak wskazują autorzy, istnieje

wiele hipotez co do przyczyn powstawania tego rodzaju zniszczeń na powierzchni materiału. W swoim doświadczeniu poddali oni jednoczesnemu działaniu wiatru i roztworu soli próbki wapienia. W wyniku eksperymentu (który trwał około miesiąca) stwierdzono, że skala zniszczeń powierzchni materiału jest w ścisłym stopniu skorelowana z prędkością wiejącego wiatru.

Nie bez powodu w raporcie [6] Organizacji Narodów Zjednoczonych do Spraw Oświaty, Nauki i Kultury (UNESCO) wymienia się wśród wskaźników klimatycznych oprócz zmian wilgotności czy temperatury również wiatr. Są one skorelowane z czynnikami ryzyka oraz prognozowanymi oddziaływaniami fizycznymi na obiekty dziedzictwa kulturowego. W tym kontekście należy postrzegać wiatr nie tylko jako czynnik korozji eolicznej, lecz także jako katalizator korozji chemicznej.

Źródłem soli w murze może być cegła, zarówno ta niskiej jakości, zawierająca zanieczyszczenia produkcyjne, jak i ta renomowanego wytwórcy, ale transportowana i składowana bez właściwego zabezpieczenia przed wpływami atmosferycznymi.

Bardzo częstą przyczyną występowania soli, tak naprawdę niezależną od klimatu i szerokości geograficznej, jest podłoże gruntowe. Przy niezabezpieczonych należycie elementach budynku stykających się z gruntem przez podciąganie kapilarnie wilgoci do wyższych partii budynku mogą się dostać sole, których pochodzenie niejednokrotnie trudno jest nawet jednoznacznie ustalić.



Podstawowym parametrem charakteryzującym agresywność środowiska gruntowego jest pH. Najbardziej niebezpieczne dla betonu i innych materiałów są grunty o warunkach tlenowych, kwaśne i bardzo kwaśne o pH 3 lub niższym. W takich gruntach następuje utlenianie siarczków do kwasu siarkowego. Podobne warunki mogą również wystąpić na skutek natlenienia gruntów o warunkach beztlenowych, przy pH bliskim 7 [7].

## Budowlane źródła soli

Sole mogą się znajdować lub powstawać w przegrodach budynku na skutek działania czynników zewnętrznych, a także mogą pochodzić z elementów wbudowanych do konstrukcji. Jakkolwiek jakość materiałów stosowanych w budownictwie się poprawia, to jednak zagrożenia wynikające ze stosowania wadliwych wyrobów są nadal aktualne. I tak źródłem soli w murze może być chociażby cegła. Zarówno ta niskiej jakości, zawierająca zanieczyszczenia produkcyjne, jak i ta renomowanego wytwórcy, ale transportowana i składowana bez właściwego zabezpieczenia przed wpływami atmosferycznymi. Jest ona wtedy narażona na oddziaływanie czynników środowiskowych niemal ze wszystkich stron i po wbudowaniu w przegrodę staje się także źródłem związków chemicznych, które wcześniej zmagazynuje. Dlatego nierzadko na powierzchni nowo wzniesionego muru powstają wykwyty, nawet jeśli wykonawca postępował zgodnie z wymogami technologicznymi, ale został mu dostarczony zanieczyszczony materiał (tab. 1).

Oprócz cegły głównym źródłem soli jest zaprawa. W zasadzie każdy jej składnik może stanowić zagrożenie dla muru i tynku, tym bardziej że zaprawa ma kontakt z cegłą na kilku jej bokach. W rezultacie przy podwyższonej wilgotności środowiska tworzą się optymalne warunki do migracji soli rozpuszczalnych do cegły lub zachodzenia reakcji, w których wyniku sole powstają, a w konsekwencji do wystąpienia nalotów i osadów na powierzchni murów. Częste są masowe wykwyty niemal na całym licu murowanych ścian w nowo powstałych budynkach. Jest to związane z parowaniem wody uwięzio-

nej w materiałach użytych przy budowie muru, która, migrując ku powierzchni, niesie ze sobą sole rozpuszczalne zawarte w zaprawie. W literaturze amerykańskiej określa się takie zjawisko mianem „nowego budynku w rozkwicie”.

Cement jako podstawowy składnik zaprawy może się stać również źródłem soli. Dzieje się tak zwłaszcza w przypadku cementów wysokoalkalicznych, które zwiększają znacząco prawdopodobieństwo wystąpienia wykwitów, o wiele bardziej niż cementy niskoalkaliczne. Amerykańskie standardy określają zawartość alkaliów dla cementów niskoalkalicznych na poziomie 0,6%. Tymczasem okazuje się, że już dla zawartości wolnych zasad na poziomie 0,1% istnieje ryzyko wystąpienia wspomnianego zjawiska „nowego budynku w rozkwicie”.

**Źródłem soli może być zaprawa. Masowe wykwyty na niemal całym licu murowanych ścian w nowo powstałych budynkach związane są z parowaniem wody uwięzionej w materiałach użytych przy budowie muru, która, migrując ku powierzchni, niesie ze sobą sole rozpuszczalne zawarte w zaprawie.**

Jeśli chodzi o wapno, to wbrew różnym opiniom spotykanym w literaturze przeważa jednak pogląd, że jego wpływ jest bardziej pozytywny niż negatywny. Co prawda istnieje ryzyko, że w określonych warunkach wapno może reagować z niebuforowanym kwasem solnym, wskutek czego powstaje bardzo rozpuszczalny chlorek wapnia, który może być przenoszony na powierzchnię. Niemniej jednak wapno jako składnik zaprawy zwiększa jej szczelność, przez co mur jako taki jest bardziej odporny na działanie wody, która rozpuszcza lub ługuje sole zawarte w materiale.

Piasek sam w sobie nie jest rozpuszczalny w wodzie. Ważne jest jednak jego pochodze-

nie i jakość. Stosowanie piasku z pewnych źródeł oraz jego ptukanie powinno dawać gwarancję, że będzie on wolny od potencjalnych zanieczyszczeń i nie będzie zawierał soli rozpuszczalnych w wodzie.

Należy również zwrócić uwagę na stosowanie domieszek, których szczegółowy skład chemiczny jest zazwyczaj objęty tajemnicą. Co prawda domieszki jako takie nie powinny zawierać soli rozpuszczalnych w wodzie, ale mogą mieć wpływ np. na szczelność zaprawy [8].

Budowlane i inne źródła soli tworzących często wykwyty na powierzchni murów podano w tabeli 1.

## Eksploatacyjne źródła soli

Wcześniej wspomniane źródła soli występujących w elementach budynku mogą być na swój sposób niezależne od użytkownika obiektu. Czynniki eksploatacyjne wyróżnia zaś to, że są one w większości przypadków powodowane błędami lub nieprzemyślanymi działaniami człowieka.

Sole oddziałujące na budynek mogą być chociażby pochodzenia historycznego. Dlatego też nie bez powodu wskazuje się, że najbardziej zagrożone są budynki zabytkowe [9]. Problemem jest brak pełnej wiedzy na temat historii budynku i funkcji, jakie spełniał przed dziesiątkami czy setkami lat. Czynnikiem ryzyka może być chociażby magazynowane w podziemiach setki lat temu mięso konserwowane solą. Innym konkretnym przykładem może być budowa jednego z budynków hotelowych w Poznaniu, który został wzniesiony w miejscu dawnej składnicy prochu. W związku z podwyższoną agresywnością gleby należało wziąć pod uwagę możliwość destrukcji pali fundamentowych. Problem rozwiązano, zwiększając grubość otuliny.

Ryzyko powstawania wykwitów solnych stwarza także stosowanie niektórych środków konserwacyjnych. Negatywne skutki może mieć stosowanie środków czyszczących zawierających kwas mrówkowy i węglan amonu, środków ochronnych na bazie szczawianów oraz dodatków zawierających amoniak [10].

**Ryzyko powstawania wykwitów solnych jest stwarzane także przez stosowanie niektórych środków konserwacyjnych.**

Przebarwienia może zaś wywołać stosowanie do czyszczenia wysoko stężonego, niebuforowanego kwasu solnego [11]. Niewłaściwe dobranie preparatu może spowodować rozpuszczenie soli nierozpuszczalnych w wodzie, co powoduje jeszcze większy problem od pierwotnego. Ponadto wadliwie dobrany preparat może pozostawić po sobie wżery na powierzchni, które zmniejszą odporność muru na wcześniej wymienione czynniki atmosferyczne oraz spowodują kolejne wykwyty. Źródłem kryptowykwi-

Tabela 1. Najczęściej występujące związki chemiczne tworzące wykwyty na powierzchni murów [8]

Rodzaj nalotu/osadu	Najbardziej prawdopodobne źródło	
Dwuwodny siarczan wapnia (gips)	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Cegła
Uwodniony siarczan sodu (dekahydrat – sól Glauberska)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	Reakcje cement–cegła
Siarczan potasu	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Reakcje cement–cegła
Węglan wapnia	CaCO <sub>3</sub>	Zaprawa albo podłoże betonowe
Węglan sodu	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Zaprawa
Węglan potasu	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Zaprawa
Chlorek potasu	KCl	Kwasowe środki czyszczące
Chlorek sodu	NaCl	Woda morską, środki do odładzania ulic
Siarczan wanadylu – tlenosiarczan wanadu	VOSO <sub>4</sub>	Cegła
Chlorek wanadylu – tlenochlorek wanadu	VOCl <sub>2</sub>	Kwasowe środki czyszczące
Tlenek manganu	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Cegła
Tlenek żelaza lub wodorotlenek żelaza	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe(OH) <sub>3</sub>	Żelazo w kontakcie z murem albo cegły z tzw. czarnym rdzeniem
Wodorotlenek wapnia	Ca(OH) <sub>2</sub>	Cement



Fot. Suzanne MacLeod

Rys. 2. Kawernowe wietrzenie solne kamienia budowlanego (dające efekt plastra miodu) na wyspie Gozo, Malta

tów może zaś się stać zastosowanie powierzchniowych środków uszczelniających. Gdy roztwór soli przemieszcza się w kierunku powierzchni ściany, woda przenika przez powłokę uszczelniającą w postaci pary, pod powierzchnią materiału sól zaś krystalizuje, wskutek czego ciśnienie, które temu towarzyszy, niszczy strukturę materiału, powodując odpryski i pęknięcia [12].

### Drogowe źródła soli

Solne środki odładowe, zwłaszcza chlorek sodu w postaci sypkiej, solanki albo soli zwilżonej, są zimą rozprowadzane na nawierzchniach dróg i ulic. Mogą one stamtąd dostawać się do przegród budynków zarówno od strony zewnętrznej – z wodą rozbryzgiwaną spod kół samochodów oraz z wiatrem, jak i od strony wewnętrznej – z wodą wyciekającą z błota pośniegowego lub pochodzącą z topniejącego zanieczyszczonego śniegu wwożonego do garażów lub parkingów w nadkolach pojazdów. Spotykane były także przypadki bezmyślnego wykorzystywania piasku z solami odładowymi do celów budowlanych.

### Biogenne źródła soli

Zjawisko korozji biologicznej w odniesieniu do materiałów budowlanych wciąż niesie ze sobą szereg otwartych problemów badawczych [3], [13]. Obecny stan wiedzy pozwala jednak na opisanie podstaw biodeterioracji w odniesieniu do powstawania soli szkodliwych. Z metabolizmem biologicznym związane jest przede wszystkim występowanie chlorków i azotanów. Główną, choć niejedyną przyczyną są odchody zarówno ludzkie, jak i zwierzęce. Z racji postępu cywilizacyjnego w pewnym zakresie te pierwsze straciły na znaczeniu. W przypadku obiektów rolniczych wpływ fekaliów pochodzenia zwierzęcego jest jednak jak najbardziej aktualny. Fekalia są zarówno pośrednim, jak i bezpośrednim źródłem soli. W sposób bezpośredni z odchodów dostają się do środowiska chlorki. Są one szkodliwe nie tylko jako sole, lecz także stwarzają środowisko sprzyjające rozwojowi takich bakterii, jak *Halomonas* i *Sali-*

*nisphaera*, które rozwijają się na podłożach bogatych w chlorek sodu [13].

Bezpośrednim skutkiem metabolizmu biologicznego są azotany. Powstają one jako produkt przetwarzania odchodów oraz innych resztek przez mikroorganizmy. Biogenne pochodzenie azotanu potasu, czyli saletry, jest dobrze znane, choćby z powodu powszechnego występowania na ścianach stajni. Bakterie nityfikacyjnie utleniają amoniak do kwasu azotowego, który następnie jest utleniany przy udziale bakterii nitrozowych do kwasu azotowego. Kwas azotowy w reakcji z minerałami węglanowymi znajdującymi się w kamieniu tworzy sole azotanowe.

Ciekawy przypadek występowania bardzo dużych skupisk bakterii nityfikacyjnych stwierdzono na wysokości położonych partiach ścian katedry w Kolonii [3]. Prawdopodobnie substancją odżywczą tych bakterii jest siarczan amonu z zanieczyszczonego powietrza. Przypuszczenia [3], że katalizatorem zasolenia są mikroorganizmy, znajdują potwierdzenie w literaturze [13], w której mówi się o efekcie synergii, gdy obecność biofilmu przyspiesza deteriorację fizyczną i chemiczną materiału. Nałożenie się kilku czynników korozyjnych powoduje przyspieszenie procesów destrukcyjnych. Znaczną rolę odgrywają inne towarzyszące temu procesy, jak na przykład przyspieszona migracja soli w materiale wywołana także przez mikroorganizmy [14].

### Podsumowanie i wnioski

Patrząc ogólnie na źródła soli w budynku, można stwierdzić, że są one związane z warunkami środowiskowymi, zastosowanymi materiałami oraz sposobem użytkowania i konserwacji obiektu budowlanego. W myśl zasady, że lepiej zapobiegać niż leczyć, warto je neutralizować na wszystkich etapach cyklu życia budowlanej. Na etapie projektowania należy stosować rozwiązania zapobiegające negatywnemu wpływowi czynników środowiskowych, tak aby np. uniknąć dużej ekspozycji murów na wodę deszczową, ewentualnie przewidzieć odpowiednie zabiegi zabezpieczające lub dobór właściwej

technologii. Na etapie wykonawstwa należy nie tylko realizować obiekt zgodnie z projektem, lecz także dochowywać reżimów technologicznych oraz dbać o właściwe magazynowanie materiałów budowlanych oraz nabywać je u sprawdzonych dostawców i certyfikowanych producentów. W końcu, w toku eksploatacji oraz konserwacji należy użytkować obiekt zgodnie z przeznaczeniem, stosować odpowiednie do uszkodzeń technologie naprawcze oraz zapobiegać awariom, które mogą spowodować zasolenie budynku, na przykład wyciekom z instalacji czy nieszczelnościami w dachu. ■

**Abstrakt.** Często spotykaną przyczyną uszkodzeń elementów budynków są sole rozpuszczalne w wodzie. Mogą być one pochodzenia naturalnego albo stanowić rezultat działalności człowieka. Do głównych źródeł soli występujących w elementach budynku zalicza się: zanieczyszczenia atmosferyczne, podłoże gruntowe, materiały i procesy budowlane, użytkowanie budynku, odładowanie dróg, metabolizm biologiczny.

**Sources of salt in walls and plasterwork**  
A common cause of building elements destruction are water soluble salts. They can have a natural or antropogenic origin. The most common sources of salts in building elements are: air pollution, subsoils, materials, the construction process, the use of the building, deicing salts, biological metabolism.

### Bibliografia

- [1] Doehne E., Price C.A., Stone Conservation. An Overview of Current Research, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2010.
- [2] Skibiński S., Sole rozpuszczalne w wodzie. Renowacje, 4, 2000, s. 53–59.
- [3] Arnold A., Zehnder K., Monitoring Wall Paintings Affected by Soluble Salts. The Conservation of Wall Paintings: Proceedings of a Symposium Organized by the Courtauld Institute of Art and the Getty Conservation Institute, London, July 13–16, 1987, red. S. Cather.
- [4] Siedel H., v. Plehwe-Leisen E., Leisen H., Salt Load And Deterioration Of Sandstone At The Temple Of Angkor Wat, Cambodia. 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Torun, Poland 2008. Proceedings vol. I, s. 267–274.
- [5] Rodriguez-Navarro C., Doehne E., Sebastian E., Origins of honeycomb weathering: The role of salts and wind. Geological Society of America Bulletin, August 1999, s. 1250–1255.
- [6] Colette A., Climate Change and World Heritage, World Heritage Centre UNESCO, Paris, 2007.
- [7] Nawrot W., Osuszenie budowli: teoria i praktyka. Agencja Informacyjno-Promocyjna „Raport”, Kraków, 2009.
- [8] Efflorescence – Causes and Prevention. BIA Technical Notes 23A, Brick Industry Association, Reston, 2006.
- [9] Frössel F., Osuszenie murów i renowacja piwnic. Wydawnictwo Polcen, Warszawa, 2007.
- [10] The Soluble Salts in the Built Heritage, Conservation Science Consulting Sàrl, 2011.
- [11] Stains – Identification and Prevention. BIA Technical Notes 23, Brick Industry Association, Reston, 2006.
- [12] Koski J.A., Removing Efflorescence. The Aberdeen Group, 1993.
- [13] Coutinho M. L., Miller A. Z., Macedo M. F., Biological Colonization and Biodeterioration of Architectural Ceramic Materials: An Overview. Journal of Cultural Heritage, 16, 2015, s. 759–777.
- [14] Cwalina B., Biodeterioration of Concrete, Brick and Other Mineral-Based Building Materials. Understanding Biocorrosion, 2014, s. 281–312.