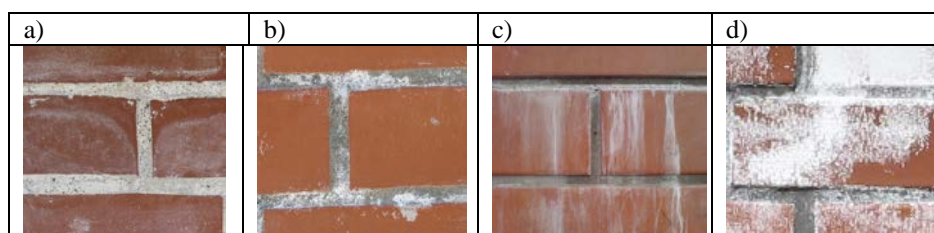


MARIA WESOŁOWSKA
ANNA KACZMAREK
Uniwersytet Technologiczno - Przyrodniczy w Bydgoszczy

WPŁYW RODZAJU ZAPRAWY NA ESTETYKĘ KLINKIEROWYCH MURÓW LICOWYCH

1. WPROWADZENIE

Na przestrzeni ostatnich lat klinkier stał się jednym z najpopularniejszych materiałów budowlanych stosowanych na reprezentacyjnych częściach budynków oraz obiektów małej architektury, co zwiększa ich trwałość i nadaje niezaprzeczalne walory estetyczne. Współczesne elementy licowe, ze względu na bogactwo kolorów i formatów, dają niezliczone możliwości komponowania elewacji oraz wykonywania detali architektonicznych. Jednak jest to materiał szczególnie wymagający zarówno na etapie doboru składników jak i samego wykonawstwa. W Eurokodzie EN 1996 [5] mur licowy został zdefiniowany jako element stosowany na zewnątrz lub wewnątrz, który powinien mieć atrakcyjny wygląd. Jest skonstruowany z atrakcyjnych elementów murowych z zastosowaniem standardowego sposobu wykonania i złączami wypełnionymi zaprawą odpowiednią do typu elementu murowego. Powyższe parametry muszą być utrzymane przez cały okres użytkowania konstrukcji tzn. czas, w którym stan elementów składowych muru odpowiada wymaganiom eksploatacyjnym pod warunkiem właściwego użytkowania. Często okazuje się jednak, że zamierzony efekt nie zostaje osiągnięty – na elewacji pojawiają się wykwitły (rys.1).



Rys. 1. Formy wykwitów, obserwowane na współczesnych murach licowych

Fig. 1. Forms of efflorescence observed on present facing walls

Należałoby więc zadać pytanie: dlaczego przy spełnieniu wymagań związanych z certyfikacją współczesnych materiałów murowych zjawisko wykwitów jest powszechne? Analizując czynniki warunkujące ich powstawanie, tj.:

- istnienie źródła soli rozpuszczalnych w wodzie (składniki zaprawy, atmosfera, grunt, elementy metalowe i inne wbudowane w mur),
 - przenikanie do muru wody, w której sole zostaną rozpuszczone,
 - występowanie czynnika powodującego ruch roztworu soli (różnica stężeń, temperatur lub ciśnienia między wnętrzem muru a jego powierzchnią)
- należy stwierdzić, że wiodącą rolę odgrywa zaprawa murarska. Decyduje ona o integralności muru.

W historycznych budowlach integralność muru była intuicyjnie zapewniana, czego efektem jest utrzymanie do czasów współczesnych ciągłości i braku podatności na wykwit wtórny. Współczesne mury licowe wykazują zaś szczególną podatność na wykwit. Zjawisko jest powszechne i ujawnia się w pierwszym roku funkcjonowania w sezonie wiosennym. Przy właściwie dobranych zaprawach i zachowaniu reżimu technologicznego, osad w kolejnych miesiącach jest rozpuszczany, aż do całkowitego zaniku. Jeżeli jednak ulega przeobrażeniu w nalot, który cyklicznie przechodzi znowu w osad i dodatkowo utrzymuje się wysoka wilgotność ściany, można wnioskować o błędzie. Do najczęściej spotykanych pomyłek należy przyjęcie niewłaściwej zaprawy, co jest konsekwencją luk w przepisach budowlanych oraz pewnych stereotypów funkcjonujących w środowisku wykonawczym.

2. WYKWIT PIERWOTNY

W literaturze wykwit definiuje się jako sól w postaci krystalicznej gromadzona na powierzchni materiału. Wydziela się ona z przesyconego roztworu solnego. Pojęcie to nie w pełni charakteryzuje występujące zjawisko. Obok soli, w murze funkcjonują związki pochodzące z zapraw (głównie $\text{Ca}(\text{OH})_2$), lub też z niewłaściwie zabezpieczonych wkładek stalowych. W obecności wody ulegają one rozpuszczeniu i przetransportowane na powierzchnię również obniżają estetykę muru, a pod wpływem związków pochodzących ze środowiska zewnętrznego ulegają dalszym przemianom.

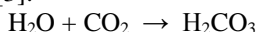
W zależności od źródła wilgoci na ceramice może pojawić się wykwit [2]:

- pierwotny, powstający w wyniku migracji związków chemicznych z materiału ceramicznego i ze świeżej zaprawy, związany z wysychaniem z wilgoci technologicznej,
- wtórny, powstający w wyniku penetracji muru przez wodę deszczową lub kondensacyjną.

Powstanie wykwitów pierwotnych uwarunkowane jest obecnością związków rozpuszczalnych w wodzie, własnościami ceramiki (struktura wewnętrzna, własności powierzchni, kapilarność, dyfuzyjność) oraz ilością wprowadzonej wody technologicznej. W skład wykwitów pierwotnych mogą wchodzić związki pochodzące z materiału ceramicznego:

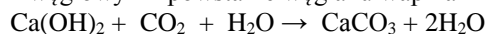
- Siarczany powstające z:
 - węglanów wapniowych i magnezowych znajdujących się w surowcach ilastych, wchodzących w reakcję ze związkami siarki, zawartymi w surowcach podstawowych, pomocniczych, materiałach opałowych oraz wodzie zarobowej,

- utleniania pirytu w surowcu w okresie hałdowania i dołowania, reakcji pomiędzy tlenkami siarki i kwasem siarkowym a wyrobem wypalonym w piecu przemysłowym; powstaje biały, zbity osad, łatwo rozpuszczalny w wodzie,
- związków wanadu, zawartych w najdrobniejszych frakcjach gliny w ilościach nie przekraczających zwykle 0,2% [1]; w obecności wody ulega rozpuszczeniu zarówno tlenek wanadu jak i siarczan wanadu tworząc na powierzchni lica cegły wykwit (VOSO₄) o zabarwieniu żółtym i zielonym [4].
- Chlorki z wody i ze złóż materiałów ilastych zlokalizowanych w pobliżu wysadów solnych. Rozpuszczane przez wodę technologiczną migrują na powierzchni i krystalizują się w postaci szklatego nalotu koloru białego (NaCl, KCl, CaCl₂) lub, w przypadku obecności związków wanadu, żółtego i zielonego (VOCl₂).
- Węglany – wypierane są z tworzonych przez siebie soli nawet przez najsłabsze kwasy. Woda deszczowa reaguje z dwutlenkiem węgla z powietrza tworząc agresywny kwas węglowy [3]:

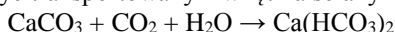


Korozja powodowana przez kwas węglowy przebiega etapami:

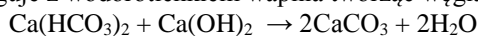
Reakcja wapna z kwasem węglowym i powstanie węglanu wapnia



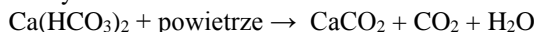
Następnie cząsteczki dwutlenku węgla tworzą z węglanem wapnia i wodą dwuwęglan wapnia nazywany też wodorowęglanem wapnia. Rozpuszcza się on łatwo w wodzie i dlatego też może być transportowany z wnętrza ściany na zewnątrz:



Dwuwęglan wapnia reaguje z wodorotlenkiem wapnia tworząc węglan wapnia:



Następnie cząsteczki kwasu węglowego rozpuszczają węglan wapnia, tworząc dwuwęglan wapnia, który wychodzi z danego elementu budowlanego, utwardza się i pozostaje widoczny jako wykwit:



3. BADANIA IN SITU

Do badań *In situ* wykorzystano murki testowe grubości 1 cegły i wymiarach 1,61 x 1,42 m, wykonanych w wiązaniu pospolitym w układzie z następującymi zaprawami:

- zaprawa cementowo - wapienna CW,
- zaprawa systemowa - S1,
- zaprawa systemowa - S2.

Przekrój murka został tak ukształtowany, żeby modelował warunki wymagane dla murów licowych zgodnie z normą PN-EN 771-1 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.:**

- warunki surowe F2,
- warunki umiarkowane F1.

Celem badań było ustalenie okresu wykwitu pierwotnego, obserwacja ewolucji wykwitów oraz analiza składu chemicznego (tab. 1,2,3). Inwentaryzacja i badania chemiczne wykwitów były wykonywane cyklicznie w odstępach trzymiesięcznych (październik, styczeń, kwiecień,) po minimum siedmiu dniach okresu bezdeszczowego.

Tablica 1. Analiza składu chemicznego wykwitów pobranych z murka testowego na zaprawie systemowej S1

Table 1. Chemical composition's analysis of efflorescences taken from masonry with commercial mix S1

Rok	Udział rozpuszczalnych soli mineralnych w wykwicie %	Analiza jakościowa soli mineralnych						
		SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	Cl-	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺
IV 2008	51,42	++	-	-	śl	+	+	-

Tablica 2. Analiza składu chemicznego wykwitów pobranych z murka testowego na zaprawie systemowej S2

Table 2. Chemical composition's analysis of efflorescences taken from masonry with commercial mix S2

Rok	Udział rozpuszczalnych soli mineralnych w wykwicie %	Analiza jakościowa soli mineralnych						
		SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	Cl-	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺
IV 2008	6,46	poniżej czułości metody						

Tablica 3. Analiza składu chemicznego wykwitów pobranych z murka testowego na zaprawie cementowo - wapiennej CW

Table 3. Chemical composition's analysis of efflorescences taken from masonry with cement-lime mortar

Rok	Udział rozpuszczalnych soli mineralnych w wykwicie %	Analiza jakościowa soli mineralnych						
		SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	Cl-	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺
IV 2008	8,78	++	-	-	śl.	+	+	-

Badania chemiczne polegały na ekstrakcji w wodzie destylowanej zmielonego i wysuszonego materiału i pomiar przewodnictwa przesącza w konduktometrze/pH-metrze. Przeznaczone do badań próby zmielono w moździerzu, przesiano przez sito o boku 0,1mm i wysuszono do stałej masy. Do zlewek o pojemności 100 cm³ odważono na wadze analitycznej po około 1g materiału z dokładnością do 0,0001g i zadano wodą destylowaną w stosunku 1:50. próby wymieszano i pozostawiono na 24 godz. w normalnych warunkach. Zawiesiny przesączono do kolbek miarowych o pojemności 100cm³. Z kolb pobrano pipetą po 50cm³ roztworu i przeniesiono do wysuszonych do stałej masy porcelanowych parownic odparowując na łaźni wodnej do sucha. Parownice z pozostałością wysuszono w temp. 105⁰C do stałej masy, zważono na wadze analitycznej i oznaczono w procentach ilość wyekstrahowanej substancji w stosunku do masy odważki. Pozostałość na parownicach rozpuszczono w 1cm³ wody destylowanej i przeprowadzono analizę jakościową jonów.

Stwierdzone w wykwitach rozpuszczalne sole mineralne należą do grupy:

- siarczanów (wapnia i sodu),
 - azotanów (wapnia i sodu).
- Charakteryzują się one wysoką rozpuszczalnością (tab. 4).

Tablica 4. Rozpuszczalność soli stwierdzonych w wykwitach

Table 4. Solubility of salts identified in efflorescences

Rozpuszczalność		KATIONY	
		Na+	Ca ²⁺
ANIONY	NO ₃ ⁻	III	III
	SO ₄ ²⁻	III	II
I substancje praktycznie nierozpuszczalne (ich rozpuszczalność jest mniejsza niż 0,1g)			
II substancje słabo rozpuszczalne (ich rozpuszczalność mieści się w granicach od 0,1-1,0g)			
III substancje dobrze rozpuszczalne (ich rozpuszczalność jest większa od 1,0g)			



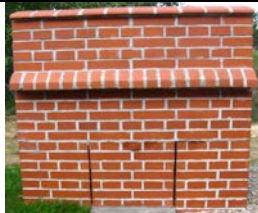






Do substancji praktycznie nierozpuszczalnych zalicza się:

- wszystkie wodorotlenki z wyjątkiem wodorotlenków metali alkalicznych, amonowego i barowego są nierozpuszczalne, Ca(OH)₂ i Sr(OH)₂ są słabo rozpuszczalne,
- wszystkie obojętne węglany i fosforany są nierozpuszczalne z wyjątkiem węglanów i fosforanów amonowych oraz metali alkalicznych,
- wszystkie siarczki z wyjątkiem siarczków amonowych, siarczków metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych są nierozpuszczalne; stwierdzone sole oddziałują na ceramikę i zaprawę fizycznie – w wyniku krystalizacji i uwodnienia oraz chemicznie – rozpuszczając się w wodzie i ewoluując w roztworze.

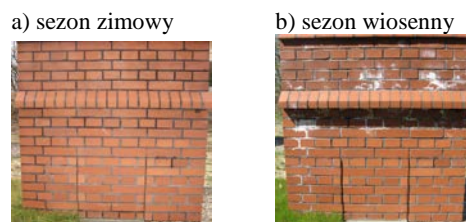
Siarczany i azotany z fizycznego punktu widzenia są substancjami krystalicznymi, łatwo rozpuszczalnymi w wodzie. Niektóre z nich do rozpuszczania nie potrzebują wody ciekłej, wystarczy im odpowiednia wilgotność powietrza (np. dla Na₂SO₄ – 84%). Stąd w okresie zimowym wykwit w większości przypadków jest niewidoczny, co znalazło potwierdzenie na stanowisku poligonowym badań (tab.5).

Tablica 5. Ewolucja wykwitu pierwotnego

Table 5. Evolution of primary efflorescence

Bezpośrednio po wykonaniu stanowiska badań		
Zaprawa S1	Zaprawa S2	Zaprawa CW
		
Po dziewięciu miesiącach funkcjonowania stanowiska badań		
Zaprawa S1	Zaprawa S2	Zaprawa CW
		
Po roku funkcjonowania stanowiska badań		
Zaprawa S1	Zaprawa S2	Zaprawa CW
		

W przypadku zaprawy S2 obszar objęty wykwitem wykazuje znacznie wyższą wilgotność (badania kontrolne wilgotności wykazały zawilgocenie zaprawy wyższe o 4% w stosunku do pozostałej części muru). Zawilgocenie jest widoczne na powierzchni i odpowiada zakresowi późniejszych wykwitów (rys. 2).



Rys. 2. Korelacja wykwitu z zawilgoceniem muru wykonanego na zaprawie S2

Fig. 2. Correlation efflorescence with moisture of masonry with commercial mix S2

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Zaprawa S2 z niewielkimi obszarami objętymi wykwitami charakteryzuje się wykwitem o wysokim udziale rozpuszczalnych soli mineralnych w wodzie, w skład których wchodziły zarówno siarczany, jak i azotany.







Murek wykonany na zaprawie C-W charakteryzował się w pierwszym sezonie niskim udziałem rozpuszczalnych soli 8,78% z przewagą siarczanów i śladowym udziałem azotanów.

W badanym murku na zaprawie systemowej S1 stwierdzono już na początku utrzymujący się wysoki udział rozpuszczalnych soli mineralnych z obecnością w pierwszym sezonie użytkowania dużych ilości siarczanów i śladowych ilości azotanów. W pierwszym roku wykwit pierwotny utrzymywał się na obszarach zawilgoconych. W związku z tym okres obserwacji wydłużono celem ustalenia ewentualnego zaniku wykwitu pierwotnego. W kolejnych latach na tym murku pojawiły się chlorki świadczące o podatności na wnikanie wody opadowej oraz węglany jako produkty destrukcji zaprawy.

W kolejnych latach obserwacji polygonowego stanowiska badań stwierdzono, że w murku na zaprawie CW obszar objęty wykwitem ulega systematycznemu zmniejszeniu. Zaprawy systemowe, dla których producenci deklarują brak wykwitów ze względu na przyjęty skład materiałowy wykazują istotne zmiany w udziale pojawiających się wykwitów. Okres wiosenny jest czasem ich intensyfikacji, co wiąże się z oddziaływaniem środowiska (tab. 6).

Tablica 6. Wykwit w kolejnych latach obserwacji stanowiska badań

Table 6. Efflorescence in subsequent years of observation research position

Po 2 latach funkcjonowania stanowiska poligonowego badań		
Zaprawa S1	Zaprawa S2	Zaprawa CW
		
Po 5 latach funkcjonowania stanowiska poligonowego badań		
Zaprawa S1	Zaprawa S2	Zaprawa CW
		

LITERATURA

- [1] Awgustnik A.J., 1980r Ceramika. Warszawa, 57.
- [2] Bensted J., 2001.The chemistry of efflorescence, Cement Wapno Beton nr 4, 133-142.
- [3] EN 1996 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 2. Uwarunkowania projektowe, dobór materiałów i wykonawstwo konstrukcji murowych.
- [4] Rain Resistant Masonry Construction The Efflorescence Phenomenon The Norwest Masonry Guide.
- [5] Frössel F., 2007. Osuszanie murów i renowacja piwnic, Polcen, Warszawa.
- [6] PN-EN 771-1:2006 Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 1. Elementy murowe ceramiczne.

MORTAR TYPE EFFECT ON AESTHETICS OF CLINKER WALL

Summary

This paper presents the results of in situ assessment aesthetic clinker facing walls made using ready mix mortar to eliminate efflorescence and discoloration. A series of research aimed to identify the area most exposed brickwork on the efflorescence. Results were compared with the traditional solution such as cement - lime mortar.