

Kudrowice, 2020-05-09

Ruiny zamku w Bolesławcu

Wyniki badań cegły i spoiny

1. Oględziny obiektu i badania *in situ*

W dniu 3 sierpnia 2022 pobrano próbki cegły i spoiny z pozostałości murów oraz z wieży ruin zamku w Bolesławcu oraz wykonano na miejscu badania przy użyciu przyrządów elektronicznych. Zarówno mury obronne jak też wieża zostały wymurowane z cegły ceramicznej, na podmurówce kamiennej. Obiekt był już w przeszłości poddawany renowacjom, dlatego duża część cegieł to materiał wtórny. Cegłą wykazuje bardzo zróżnicowane właściwości, takie jak wytrzymałość mechaniczna lub nasiąkliwość. Różne są także obrazy destrukcji cegły – niektóre rozsypują się, inne rozwarstwiają a jeszcze inne pękają na liczne drobniejsze fragmenty. Jest to uzależnione między innymi od pierwotnych właściwości oraz od czynników destrukcyjnych występujących w danym miejscu. Ani mury, ani wieża nie są otynkowane od strony zewnętrznej. Częściowo tynkowane były jedynie powierzchnie wewnątrz wieży. Spoina jest wapienna z kruszywem o uziarnieniu do ok. 1 mm. Podczas prac renowacyjnych lokalnie użyto także zaprawy cementowej. Na wysokości ok. 20-30 cm pod górnym poziomem murów obronnych stwierdzono obecność izolacji poziomej w postaci warstwy papy, prawdopodobnie nasączonej bitumami. Jest ona bardzo zdegradowana.

Na murze od strony wschodniej stwierdzono warstwę nalotu w jasnym kolorze. Warstwa ma grubość do 1 mm i łuszczy się.

Próbki pobierano w charakterystycznych miejscach w celu ustalenia stopnia zawilgocenia i przyczyn zniszczenia murów. W miejscach M1-M9 wyznaczono osie i pobrano próbki z trzech różnych wysokości, oznaczone odpowiednio literami A, B, C.

A – wysokość 30 cm nad poziomem terenu
B – wysokość 80 cm nad poziomem terenu

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli

C – wysokość 130 cm nad poziomem terenu

W miejscu M10 pobrano jedną próbkę na wysokości 40 cm nad poziomem terenu.

W dwóch miejscach pobrano próbki spoiny – oznaczone jako SPOINA 1 i SPOINA 2.

Pobrano także próbkę nalotu z zewnętrznej powierzchni muru obronnego od strony wschodniej – oznaczona jako NALOT.

Próbki umieszczono w hermetycznie zamykanych woreczkach z tworzywa sztucznego.

Podczas pobierania próbek, w pobliżu miejsca pobrania, wykonano też badania wilgotności z użyciem dwóch różnych urządzeń pomiarowych. Badania przyrządem TESTO 606-2 przedstawiają zawilgocenie na powierzchni, zaś badania przyrządem TROTEC T610 pokazują zawilgocenie wgłębne.

Na wieży ograniczono się tylko do badań przyrządami elektronicznymi. Badania tymi przyrządami pokazały, że u podstawy wieży nie ma ani problemów z zawilgoceniem ani z zasoleniem cegły. Z kolei na szczycie wieży zawilgocenie muru jest bezsporne. Pobrano jedynie próbkę cegły wyraźnie zasolonej, z pomieszczenia poniżej stropu na szczycie wieży oraz próbkę spoiny z włomu w murze u jego podstawy.

Miejsca pobrania próbek zostały zaznaczone na szkicu ruin. Ponadto załączono dokumentację fotograficzną z zaznaczonymi miejscami pobrania próbek. Poszczególne miejsca pomiaru i pobrania próbek widoczne są jako niebieskie punkty. Na osobnym szkicu przedstawione są miejsca wykonania pomiarów przyrządami elektronicznymi na szczycie wieży – te pomiary wykonano na wysokości ok. 25 cm nad posadzką.

Warunki atmosferyczne podczas pobierania próbek: temperatura powietrza 31,5°C w cieniu, wilgotność względna powietrza 33,8%, zachmurzenie małe. W ciągu kilku dni przed wykonaniem pomiarów i pobraniem próbek nie było żadnych opadów.

Zestawienie przeprowadzonych badań:

- badanie wilgotności metodą elektryczną przyrządem TESTO 606-2
- badanie wilgotności wgłębnej metodą mikrofalową przyrządem TROTEC T610
- pobranie próbek cegły i wykonanie badań laboratoryjnych:

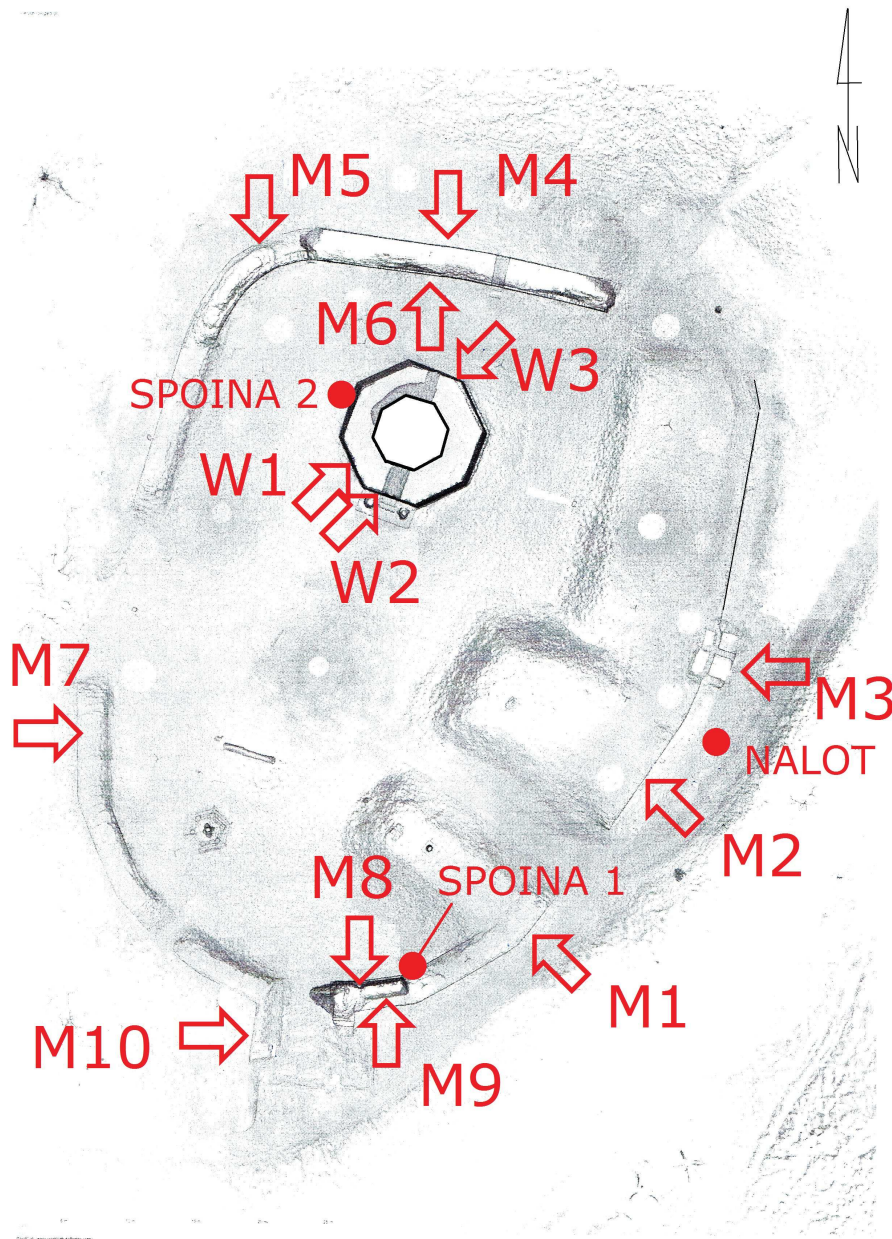
Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

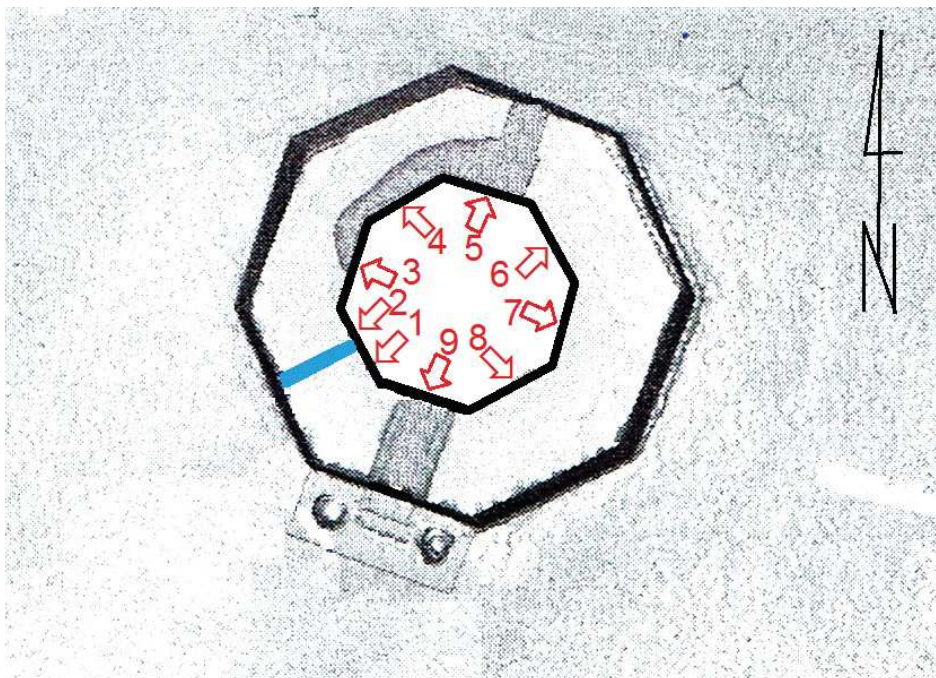
NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli

- badanie wilgotności metodą suszarkową (ważenie i suszenie próbek)
- badanie zawartości soli rozpuszczalnych w wodzie - chlorków, azotanów i siarczanów, za pomocą pasków oznaczeniowych MERCK
- badanie nasiąkliwości cegły dla 3-4 próbek
- badanie zasolenia dla 2 próbek oryginalnej spoiny
- identyfikacja składu białego nalotu na powierzchni muru od strony wschodniej



Miejsca pobrania próbek 3.08.2022



Miejsca wykonania badań na szczycie wieży 3.08.2022

2. Badania przyrządami elektronicznymi

W miejscach pobrania próbek wykonano dodatkowo badania dwoma przyrządami elektronicznymi działającymi na różnych zasadach. Do porównań przyjęto wyłącznie wyniki w miejscach, gdzie badano cegłę laboratoryjnie. Uwzględniono także parametr określający sumaryczną zawartość soli w cegle.

Krótką charakterystyką zastosowanych przyrządów:

TESTO 606-2

Wilgotnościomierz testo 606-2 mierzy wilgotność różnego typu drewna i materiałów budowlanych. Poza możliwością pomiaru wilgotności, mierzona jest również wilgotność względna i temperatura otoczenia. Pomiar wilgotności materiału odbywa się na zasadzie pomiaru przepływu prądu. Elektrody pomiarowe gwarantują precyzyjne pomiary wilgotności, pod warunkiem, że materiał nie jest dodatkowo zasolony.



Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli

TROTEC T610

Radiometr mikrofalowy. Zasada pomiaru wilgotności materiałów wykorzystuje zjawisko dielektryczne. Czujnik mikrofalowy jest wyposażony w antenę pozwalającą na nieniszczący pomiar wilgotności na głębokość do 30 cm. Pomiarowi poddawana jest ilość fal odbijanych zależna od poziomu wilgotności.



Badania elektroniczne - mury obronne

Miejsce badań	TESTO 606-2	TROTEC T610
M1A	0,4	44,6
M1B	0,6	73,7
M1C	1,9	68,4
M2A	1,5	66,8
M2B	2,1	74,1
M2C	4,5	61,4
M3A	1,6	78,2
M3B	1,6	41,5
M3C	0,3	37,7
M4A	1,5	85,4
M4B	2,7	46,0
M4C	5,2	60,4
M5A	7,0	73,4
M5B	9,4	52,2
M5C	1,2	66,1
M6A	1,4	60,1
M6B	10,9	59,5
M6C	1,0	37,0

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli

M7A	7,3	80,1
M7B	5,6	76,6
M7C	5,7	76,8
M8A	6,3	54,1
M8B	0,6	37,0
M8C	0,4	46,8
M9A	4,9	57,6
M9B	4,4	63,0
M9C	3,2	70,6
M10A	2,6	64,9

Badania elektroniczne - podstawa wieży

Miejsce badań	TESTO 606-2	TROTEC T610
W1A	0,2	27,2
W1B	0,1	25,3
W1C	0,1	36,4
W2A	0,3	40,2
W2B	0,2	28,5
W2C	0,1	27,5
W3A	0,2	42,1
W3B	0,1	34,5
W3C	0,1	36,1

Badania elektroniczne - szczyt wieży

Miejsce badań	TESTO 606-2	TROTEC T610
1	0,1	54,4
2	0,1	55,6
3	0,1	24,8
4	0,1	43,6
5	5,1	46,7
6	0,1	31,2

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli

7	6,5	73,1
8	0,1	72,2
9	0,1	66,5

3. Badania laboratoryjne

Próbki poddano badaniu zawilgocenia metodą ważenia i suszenia próbek. Badania wilgotności wykonano w ciągu 24 godzin po pobraniu próbek. Następnie wykonano badania zasolenia, sprawdzono zawartość rozpuszczalnych chlorków, azotanów i siarczanów, zastosowano metodę z użyciem pasków oznaczeniowych firmy Merck. W tabeli z wynikami badań zawilgocenia dla próbek cegły podano dodatkowo wartości obliczonego stopnia zawilgocenia DFG, przyjmując jako maksymalną wilgotność wartość 15% – jest to średnia maksymalna wilgotność (nasiąkliwość kapilarna) cegły ceramicznej używanej do murowania, na podstawie literatury. Podany stopień zawilgocenia ma charakter orientacyjny, ponieważ nie badano rzeczywistej nasiąkliwości dla każdej próbki, a w badaniach dla trzech losowo wybranych próbek cegły uzyskano bardzo zróżnicowane wyniki – 18,1%, 10,0%, 15,1%.

Badanie wilgotności metodą laboratoryjną

	m_w [g] masa początkowa (wilgotna)	m_s [g] masa sucha	W [%] wilgotność $\frac{m_w - m_s}{m_s}$	Stopień zawilgocenia cegły (DFG) [%]
M1A	12,85	12,80	0,4	3
M1B	17,95	17,55	2,3	15
M1C	33,20	30,90	7,4	49
M2A	23,50	21,45	9,6	64
M2B	26,20	24,55	6,7	45
M2C	26,75	24,30	10,1	67
M3A	27,15	24,60	10,4	69
M3B	26,20	25,55	2,5	17
M3C	26,45	25,70	2,9	19

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli

M4A	26,10	23,45	11,3	75
M4B	20,70	19,95	3,8	25
M4C	30,30	28,40	10,2	68
M5A	31,75	29,30	8,4	56
M5B	29,15	27,35	6,6	44
M5C	23,10	22,30	3,6	24
M6A	17,10	15,95	7,2	48
M6B	23,10	22,45	2,9	19
M6C	34,40	33,70	2,1	14
M7A	31,40	29,85	5,2	35
M7B	34,30	32,30	6,2	41
M7C	20,20	19,60	3,1	21
M8A	24,85	23,90	4,0	27
M8B	17,10	16,35	4,6	31
M8C	23,65	23,50	0,6	4
M9A	21,25	21,15	0,5	3
M9B	25,20	25,15	0,2	1
M9C	32,00	31,40	1,9	13
M10A	30,60	28,25	8,3	55
SPOINA 1	26,90	25,05	7,4	–
SPOINA 2	31,70	29,40	7,8	–
WIEŻA SOLE	38,95	36,40	7,0	47

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli

Badanie nasiąkliwości (po 48 h zanurzenia w wodzie)

	m ₄₈ [g] masa po 48 h zanurzenia w wodzie	m _s [g] masa sucha	Nasiąkliwość [%]
M3B	16,30	13,80	18,1
M7B	24,15	21,95	10,0
M9C	15,20	13,20	15,1
SPOINA 1	27,40	23,10	18,6

Badanie zawartości soli

	siarczany [%]	chlorki [%]	azotany [%] azotyny (obecność)	stopień zasolenia
M1A	0,8	0,25	0,125 NO ₂ ⁻ +	średni
M1B	0,8	0,15	0,125 NO ₂ ⁻ ++	średni
M1C	0,8	0,15	0,005	średni
M2A	0,8	0,10	0,025 NO ₂ ⁻ +	średni
M2B	0,8	0,10	0,025 NO ₂ ⁻ +	średni
M2C	0,8	0,10	0,125 NO ₂ ⁻ +	średni
M3A	0,8	0,25	0,025	średni
M3B	0,8	0,25	0,050 NO ₂ ⁻ +	średni
M3C	0,8	0,10	0,050	średni
M4A	0,8	0,10	0,125 NO ₂ ⁻ +	średni
M4B	0,6	0,25	0,025	średni
M4C	0,8	0,50	0,025	wysoki
M5A	0,8	0,50	0,050 NO ₂ ⁻ +	wysoki
M5B	0,8	0,50	0,125 NO ₂ ⁻ ++	wysoki
M5C	0,6	0,20	0,125 NO ₂ ⁻ +	średni
M6A	0,8	0,25	0,125 NO ₂ ⁻ +	średni
M6B	0,8	0,75	0,125	wysoki
M6C	0,8	0,50	0,125 NO ₂ ⁻ +	wysoki

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli

M7A	0,8	0,10	0,005		średni
M7B	0,8	0,10	0,0125		średni
M7C	0,8	0,10	0,0125		średni
M8A	0,8	0,50	0,125	NO ₂ ⁻ +	wysoki
M8B	0,8	0,50	0,125	NO ₂ ⁻ +	wysoki
M8C	0,8	0,25	0,125	NO ₂ ⁻ +	średni
M9A	0,8	0,50	0,125		wysoki
M9B	0,8	0,50	0,125		wysoki
M9C	0,8	0,75	0,050		wysoki
M10A	0,4	0,10	0,025	NO ₂ ⁻ +	niski
SPOINA 1	0,8	0,50	0,050	NO ₂ ⁻ +	średni
SPOINA 2	0,4	0,10	0,125	NO ₂ ⁻ +	niski
WIEŻA SOLE	0,8	0,25	0,025		średni
NALOT	0	0	0		

Oceny wyników zawartości soli dokonano zgodnie z kryteriami podanymi przez instrukcję WTA odnoszącą się do diagnostyki murów.

	niski	średni	wysoki
chlorki	< 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
azotany	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3
siarczany	< 0,5	0,5 – 1,5	> 1,5

Za ogólny poziom zasolenia muru przyjmuje się najwyższą kategorię jaką osiąga którakolwiek z soli.

Badania nawarstwienia z murów obronnych od strony wschodniej

Próbkę nalotu a w zasadzie nawarstwienia w postaci twardej łuski o grubości ok. 1 mm poddano badaniu na zawartość soli rozpuszczalnych w wodzie. Nie stwierdzono obecności takich soli w istotnych ilościach. Dodatkowo próbkę poddano badaniom pod

kątem właściwości charakterystycznych dla węglanu wapnia.

Stwierdzono następujące właściwości:

- bardzo słaba rozpuszczalność w wodzie
- w wyniku prażenia w temperaturze powyżej 800°C następuje rozkład, pozostałość po prażeniu jest ciałem stałym w kolorze białym (w wyniku termicznego rozkładu węglanu wapnia wydzielają się tlenek wapnia i dwutlenek węgla)
- substancja reaguje z kwasami z wyraźnym wydzielaniem gazu (dla węglanu wapnia – kwas solny skutkuje gwałtownym wydzielaniem się dwutlenku węgla)

Czysty węglan wapnia (czysty kalcyt) jest bezbarwny, ale dzięki pęcherzykom powietrza, mikropęknięciom i mikrokryształom nawarstwienia mają kolor biały lub są półprzeźroczyste. Gdy woda wyciekająca z muru ma w swoim składzie domieszki żelaza, kolor nawarstwień może być żółty, czerwony lub rdzawy. Jony manganu powodują kolor ciemniejszy: od brązowego po czarny.

Na podstawie powyższego można przyjąć, że nalot na murach od strony wschodniej składa się głównie z węglanu wapnia i jest efektem wypłukiwania rozpuszczalnych składników zaprawy wapiennej z wnętrza muru na jego powierzchnię. Jest to efektem zasypania muru od strony dziedzińca i braku odprowadzenia wody po powierzchni terenu lub drenażem.

4. Wnioski

Na podstawie badań przeprowadzonych na miejscu oraz dodatkowych badań laboratoryjnych można stwierdzić, że mury obronne są w istotnym stopniu zawilgocone oraz obciążone solami rozpuszczalnymi w wodzie. Najbardziej zawilgocone są korony murów oraz fragmenty, które z co najmniej jednej strony zostały zasypane gruntem. Należy uznać, że stara izolacja pozioma w koronach murów przestała prawidłowo funkcjonować. Konieczne jest usunięcie całkowicie zdegradowanych warstw na koronach murów. Po oczyszczeniu i wyrównaniu podłoża należy ułożyć powłokę hydroizolacyjną, na której należy ułożyć 2-3 warstwy cegły dopasowanej pod względem wymiarów, koloru i właściwości fizycznych do cegły oryginalnej.

Aby zachować mury od strony wschodniej, konieczne jest ich odsłonięcie od strony dziedzińca i skuteczne zabezpieczenie przed wnikaniem wody, np. poprzez wykonanie izolacji pionowej i ułożenie drenażu odprowadzającego nadmiar wody poza obręb murów.

Nie stwierdzono istotnych problemów w murach wieży w pobliżu poziomu terenu. Jednak mur na szczycie wieży jest wyraźnie zawilgocony. Podwyższone zawilgocenie obejmuje nie tylko koronę muru ale także ściany pomieszczenia poniżej stropu w koronie wieży. Najbardziej zawilgocone są okolice odpływu oraz fragmenty od strony południowo-wschodniej. Zaleca się aby odpływ prawidłowo uszczelnić oraz wyprowadzić go co najmniej kilka centymetrów poza obrys muru, tak aby odprowadzana woda nie spływała po murze wieży. Konieczne jest także poprawienie spadków posadzki a także uszczelnienie styku posadzki i pionowej powierzchni korony wieży.

Badania poziomów zawartości soli potwierdzają znaczące zasolenie cegły i spoiny murów obronnych. Zdecydowana większość pobranych próbek została sklasyfikowana jako zasolona w stopniu średnim lub wysokim. Szczególnie niepokojące są wysokie zawartości chlorków w aż jednej trzeciej pobranych próbek. W prawie wszystkich próbkach stwierdzono istotną zawartość siarczanów. Poza umiarkowaną ilością

azotanów, stwierdzono także obecność azotynów w około połowie próbek. Nie jest to typowe.

Informacyjnie – najczęstsze źródła soli w murach:

siarczany - użycie gipsu jako dodatku do zapraw lub wykończenia ścian, dodatki używane podczas produkcji cegły, reakcja zapraw ze spoiwem wapiennym z kwaśnymi deszczami

chlorki - sól jako środek antymrozowy do posypywania ciągów komunikacyjnych, dodatek antymrozowy do zapraw murarskich i tynkarskich

azotany - odchody zwierzęce i ludzkie, składowanie nawozów azotowych (w tym naturalnych)

Z przeprowadzonych badań wynika, że nalot na murach od strony wschodniej składa się głównie z węglanu wapnia. Nie da się go usunąć wodą. Konieczne jest zastosowanie metod mechanicznych.

Tak jak wskazano wyżej, nalot na murach od strony wschodniej jest efektem wypłukiwania rozpuszczalnych składników zaprawy wapiennej z wnętrza muru na jego powierzchnię. Jest to efektem zasypania muru od strony dziedzińca i braku odprowadzenia wody po powierzchni terenu lub drenażem. Technicznie optymalnym rozwiązaniem byłoby odsłonięcie tych murów od strony dziedzińca, wykonanie pionowej izolacji przeciwwodnej oraz ułożenie drenażu odprowadzającego wodę poza mury obronne. Poza tym, konieczna jest także nowa izolacja pozioma w koronie murów.

Ze względu na stosunkowo wysokie zasolenie, przy wysokiej zawartości chlorków i azotanów, niedopuszczalne jest wykonywanie hydrofobizacji istniejących murów. Ponadto, w związku z wysoką zawartością soli należy wykluczyć zabiegi z użyciem dużych ilości wody np. czyszczenie strumieniem wodnym. Mogłoby to spowodować uruchomienie soli i wyniesienie ich na powierzchnię.

Jarosław Gasewicz

DOKUMENTACJA FOTOGRAFICZNA



Fot. 1 Miejsce badań M1



Fot. 2 Miejsce badań M2

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli



Fot. 3 Miejsce badań M3



Fot. 4 Miejsce badań M4

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli



Fot. 5 Miejsce badań M5



Fot. 6 Miejsce badań M6

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli



Fot. 7 Miejsce badań M7



Fot. 8 Miejsce badań M8

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli



Fot. 9 Miejsce badań M9



Fot. 10 Miejsce badań M10

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli



Fot. 11 Miejsce badań W1



Fot. 12 Miejsce badań W2

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli



Fot. 13 Miejsce badań W3



Fot. 14 Nalot na murze od strony wschodniej

Jarosław Gasewicz

Kudrowice 95; 95-200 Pabianice

NIP 739-105-41-78

Konsultacje w zakresie technologii renowacji budowli



Fot. 15 Nalot na murze od strony wschodniej - zbliżenie



Fot. 16 Nieszczelny odpływ na szczycie wieży