

dr inż. Wojciech Terlikowski¹⁾

ORCID: 0000-0002-1675-0282

mgr inż. Ewa Sobczyńska¹⁾

ORCID: 0000-0002-5211-6158

mgr inż. Martyna Gregoriou-Szczepaniak^{1)*}

ORCID: 0000-0002-6200-4969

Ryzyko zastosowania materiału zastępczego w procesie rekonstrukcji zabytkowych murów kamiennych na zaprawie glinianej

The risk of using a substitute material in the process of conservation of historic stone walls on earth-based mortar

DOI: 10.15199/33.2022.11.25

Streszczenie. Proces rekonstrukcji zabytkowych konstrukcji kamiennych jest zagadnieniem złożonym i wymagającym wielu badań i analiz. Jednym z niezwykle ważnych aspektów jest ryzyko zastosowania niewłaściwego rozwiązania naprawczego do istniejącej materii. Ryzyko to w znacznej mierze obejmuje zagadnienia dotyczące analizy fizykochemicznej, ale także kompatybilność środowiskową czy realizacyjną. Chodzi zarówno o parametry zastosowanego materiału, w odniesieniu do materiału kamiennego, takie jak skład chemiczny, mineralogiczny, porowatość, parametry wytrzymałościowe itd., ale także o panujące warunki środowiskowe wpływające na ryzyko przeprowadzenia działań naprawczych, dostępność materiałów i sprzętu czy też o stopień wykształcenia zespołu lokalnych pracowników. Wszystkie aspekty zostaną przedstawione w odniesieniu do konserwacji zabytkowych murów kamiennych na zaprawie glinianej. Zostaną im przypisane wartości punktowe wraz z opisem oraz zaprezentowany zostanie schemat określania wskaźnika ryzyka zastosowania materiału naprawczego w przypadku zabytkowych konstrukcji kamiennych na stanowisku archeologicznym w Tanais.

Słowa kluczowe: zabytkowe konstrukcje kamienne; zaprawa gliniana; konserwacja; ryzyko; kompatybilność.

Abstract. The process of conservation of historic stone structures is a complex issue that requires a lot of research and analysis. One of the extremely important aspects is the risk of applying a substitute material to an existing one. This risk largely covers issues in the field of physico-chemical analysis, but also environmental or implementation compatibility. Therefore, we are talking here both about the parameters of the substitute material in relation to the stone one, such as chemical composition, mineralogical composition, porosity, strength parameters, etc., but also about the environmental conditions affecting the risk of carrying out conservation actions, the availability of materials and equipment or the level of training of the team local workers. All aspects will be presented in relation to the conservation of historic stone walls on an earth-based mortar, point values will be assigned to them with a description, and a way of determining the risk indicator for the use of substitute material will be presented. The algorithm will be used to determine the risk index for historic stone structures at the Tanais archaeological site.

Keywords: ancient stone structures; earth-based mortar; conservation; risk; compatibility.

Utrzymanie, wzmocnienie, rekonstrukcja historycznych struktur murowych i przygotowanie do ich późniejszej eksploatacji musi być poprzedzone szczegółową diagnostyką. Identyfikacja materiałów, technologii i technik budowy historycznego budynku powinna być częścią tej diagnostyki. W przypadku starożytnych budynków spotykamy się z technikami i technologiami, które nie są obecnie stosowane. Znane są tylko lokalnie lub całkowicie nieznanne. Wła-

ściwe zrozumienie struktury rozkładu obciążenia i schematu statycznego jest czasem trudne, ale bardzo ważne.

Identyfikacja materiałów, elementów murowych, rodzaju połączenia elementów, ich kształty, parametry fizyczne i mechaniczne mają wielowymiarowe znaczenie w przypadku konstrukcji zabytkowej. Diagnostyka konstrukcji zabytkowych jest zadaniem wieloaspektowym. Składają się na nią zagadnienia konstrukcyjne, konserwatorskie, architektoniczne, ale też historyczne, kulturowe, estetyczne, środowiskowe, społeczne oraz ekonomiczne. Aspekt konstrukcyjny polegający na prawidłowej iden-

fikacji materiałów i technologii zastosowanych przy budowie konkretnego obiektu zabytkowego ma fundamentalne znaczenie. Właściwe rozpoznanie techniki budowlanej, właściwości fizycznych i mechanicznych zastosowanych materiałów umożliwia prawidłową ocenę stanu technicznego budowli lub jej części. Ponadto pozwala na określenie sposobu pracy konstrukcji, w tym zagadnień związanych ze sztywnością konstrukcyjną obiektów zabytkowych, a także weryfikację wytrzymałości konstrukcji, przyjęcie odpowiedniego rozwiązania rewitalizacyjnego, ewentualnych zabezpieczeń i wzmocnień.

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

^{*)} Adres do korespondencji: martyna.szczepaniak@pw.edu.pl

Zgodnie z zasadami konserwacji zabytków wszystkie materiały stosowane w działaniach konserwatorskich powinny być oryginalne lub kompatybilne, czyli mieć takie same (lub podobne) właściwości mechaniczne i fizyczne, jak materiał oryginalny. Materiały nieoryginalne nie mogą dominować nad oryginalnymi. Aspekt konserwatorski pokazuje związek pierwotnie stosowanych materiałów, technik i technologii z działaniami mającymi na celu zabezpieczenie i zachowanie zabytku oraz powstrzymanie jego niszczenia, a także dokumentowanie tych działań, które są uwarunkowane ustaleniami i zasadami międzynarodowymi, w tym zasadą zgodności materiałów, technik i technologii budowlanych oraz zasadą odwracalności metod i materiałów (wszelkie działania konserwatorskie powinny być prowadzone w taki sposób i przy użyciu takich materiałów, które można w przyszłości usunąć, przywracając stan pierwotny).

Aspekt architektoniczny pokazuje wpływ zastosowanych materiałów i technologii na formę budynku, układ architektoniczny i funkcjonalny, kanoony i style danego okresu historycznego i jest ściśle związany z aspektem estetycznym, który wynika z określenia piękna danego okresu, ale zawsze ma element subiektywnej oceny.

Aspekt historyczny dotyczy właściwej diagnostyki materiałowej i technicznej w kontekście architektury i historii budownictwa, w tym właściwego rozpoznania technik i technologii budowlanych, stosowanych w danym regionie w danym okresie historycznym. Porównując te techniki z innymi stosowanymi na danym terenie i poza nim, możemy wyciągnąć wnioski dotyczące rozwoju i ewolucji budowli, a także poznać zasady, które często stanowią podstawę stylów i trendów architektonicznych i budowlanych. Aspekt historyczny jest ściśle związany z aspektem kulturowym. Budownictwo i architektura są zawsze częścią kultury, która jest przejawem danej cywilizacji. Odkrycia dotyczące zabytków starożytnych wynikają z badań i analiz archeologicznych, architektonicznych, budowlanych i konserwatorskich. Mają one zazwyczaj duży wpływ na dalsze prace

konserwatorskie i rekultywacyjne [1]. Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty diagnostyki i konserwacji murów starożytnych, podjęliśmy próbę opracowania metody określenia ryzyka zastosowania zaprawy naprawczej w rekonstrukcji zabytkowych murów kamiennych.

Opis konstrukcji kamiennych w Tanais

Starożytne miasto Tanais znajdowało się dawniej prawdopodobnie nad brzegiem Morza Azowskiego. Obecnie, w związku ze zmianami geologicznymi terenu, znajduje się u ujścia rzeki Don, w pobliżu Rostowa nad Donem. W badaniach w Tanais, które odbywały się w latach 2016-2019, uczestniczyli oprócz Misji Konserwatorskiej z Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej naukowcy z Instytutu Archeologii UW, Ośrodka Badań nad Antykem w Europie Południowej i Wschodniej UW i Muzeum-Rezerwatu Tanais.

Obszar badań misji konserwatorskiej ograniczony był do części zachodniej Tanais, przy zachodniej bramie miejskiej i zawierał unikatowy system jej obrony oraz zabudowania o charakterze rezydencjonalnym i przylegającą do fortyfikacji zabudowę miejską. Badania makroskopowe przeprowadzone w czasie pobytu na wykopaliskach wykazały, że badane konstrukcje mury wykonane są z kamieni o kształ-

cie obłym lub łamanym, pochodzących z różnych skał, w większości niesortowanych, różniących się strukturą, stopniem sedymentacji, porowatości i nasiąkliwości, a co się z tym wiąże – stopniem zawilgocenia, spojonych zaprawą glinianą. Niektóre rodzaje skał, z których wykonane są elementy mury, wykazują również dezintegrację granulární. Konstrukcje są najczęściej murami dzikimi i półdzikimi, w niewielkim stopniu zachowanymi. W strukturze muru można wyodrębnić większe kamienie stanowiące obudowę muru i drobne, będące jego wypełnieniem (fotografie 1 i 2). Stanowi to rodzaj techniki rzymskiej opus emplectum [2÷3]. Spoiwem murów jest zaprawa gliniana, bazująca na glinie i piasku, które znajdują się w okolicznym gruncie rodzimym. Mury tego typu mają małą wytrzymałość, spoistość wewnętrzną i wynikającą z tego trwałość [4]. Struktura murów jest w dużym stopniu zdegradowana, co oprócz ewentualnych, świadomych oddziaływań człowieka, wynika z wielowiekowego działania destrukcyjnych procesów środowiskowych, w tym: długotrwałego, cyklicznego oddziaływania zmiennych warunków klimatycznych (śnieg, mróz, deszcz, częste zamarzanie i odmarzanie wody zawartej w gruncie oraz zawilgoconych częściach struktur kamiennych i elementów mury) i agresji bio-



Fot. 1. Mur fortyfikacyjny od strony przy bramie zachodniej
Photo 1. Fortification wall from the side of the western gate

Fot. W. Terlikowski
Photo. W. Terlikowski



Fot. 2. Widok muru obronnego (miejskiego) z boku, z fragmentem mostu Fot. W. Terlikowski
 Photo 2. View of the defensive wall from the side, with a part of the bridge Photo. W. Terlikowski

logicznej w gruncie. Zawilgacanie murów wykonanych na zaprawie glinianej jest szczególnie niebezpieczne, ponieważ woda przenika do ich wnętrza, powodując pęcznienie i osłabienie. Mury zawilgocone są bardziej podatne na odkształcenia, tracą swoją pierwotną wytrzymałość i nośność. Woda wypłykuje z zaprawy spoiwo, drobny piasek, a nawet słabo spojone drobne elementy murowe oraz spłukuje zwierzelinę skalną (abłacja). W badanych murach dzikich, wykonanych na zaprawie glinianej, wypłukiwanie jej przez wody opadowe jest zjawiskiem szczególnie destrukcyjnym.

Wymagania stawiane rekonstrukcyjnej zaprawie glinianej

W latach sześćdziesiątych XX wieku opublikowane zostały w Polsce normy dotyczące zapraw gliniano-cementowych [5÷6] oraz normy branżowe dotyczące budownictwa z gliny [7÷11]. Polski Komitet Normalizacyjny uznał, że stanowią one źródła archiwalne, a ponadto mogą zawierać nieaktualne dane techniczne. Obecnie w Polsce nie ma aktualnych norm dotyczących zapraw glinianych, natomiast na świecie w ciągu ostatnich trzydziestu lat wydano prawie czterdzieści dokumentów dotyczących budownictwa z ziemi, pochodzących z dziewiętnastu krajów [12]. Można w nich znaleźć wzmianki dotyczące zaprawy glinianej prze-

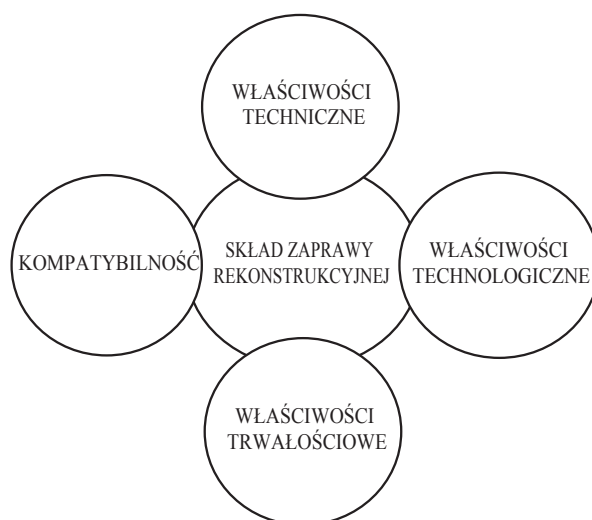
znaczanej do wznoszenia konstrukcji z ziemi, tj. z bloczków z ziemi czy cegieł suszonych. Zawarte w nich informacje mogą okazać się przydatne także do opracowania składu zaprawy z ziemi w przypadku konstrukcji kamiennych.

Należy też wspomnieć o zapisach dotyczących właściwości zapraw używanych jako zaprawy rekonstrukcyjne. Normą, która bezpośrednio odnosi się do ich właściwości, jest amerykańska norma ASTM C1713-17 [13], której zapisy zostały zawarte także w szerszym opracowaniu międzynarodowego zgrupowania RILEM [14]. Wymagania dotyczące takich zapraw, wynikające z norm, odnoszą się nie tylko do cech technicznych, technologicznych i trwałości, ale także do kompatybilności zastosowanego rozwiązania rekonstrukcyjnego z istniejącym materiałem zabytkowym. Wymagania, jakie powinna spełniać zaprawa gliniana do rekonstrukcji zabytkowych konstrukcji kamiennych przedstawiono na rysunku 1. Najważniejsze właściwości takich zapraw, to m.in. wy-

trzymałość na ściskanie, przyczepność, mrozoodporność, odporność na działanie soli oraz erozję wodną, skurcz, uziarnienie, konsystencja, zastosowane materiały, a także kompatybilność z istniejącą strukturą zabytkową.

Kompatybilność zaprawy rekonstrukcyjnej

Termin „ryzyko” może być definiowany na wiele sposobów [15]. Jednym z nich jest nieprawidłowe zastosowanie danego rozwiązania, błędne rozwiązanie danego problemu powodujące straty i zniszczenia. W przypadku zapraw rekonstrukcyjnych ryzyko może być bezpośrednio powiązane z kompatybilnością zastosowanego rozwiązania, która jest zagadnieniem złożonym i trudnym do analizy, gdyż parametrów decydujących o jej osiągnięciu jest wiele i są one wzajemnie od siebie zależne. Istotne jest, że zastosowanie rozwiązania niekompatybilnego z istniejącą strukturą nie tylko wpływa na trwałość zastosowanego rozwiązania, ale może bezpośrednio doprowadzić do zniszczenia zabytkowego materiału. Zgodnie z ogólną definicją, materiał kompatybilny z materiałem zabytkowym to taki, który nie doprowadzi w nim do zmian chemicznych, nie inicjuje ani nie nasila zjawisk niszczenia konstrukcji zabytkowej oraz zapewnia jednorodne warunki jej pracy i możliwość powrotu do sytuacji sprzed działań naprawczych



Rys. 1. Wymagania, jakie należy uwzględnić przy wyborze zaprawy rekonstrukcyjnej
 Fig. 1. Requirements which should be considered during selection of reconstruction mortar

(odwracalność procesu rekonstrukcji). Rodzaje kompatybilności zaprezentowano na rysunku 2.

Kompatybilność chemiczna wymaga, aby zaprawa rekonstrukcyjna nie wprowadzała niebezpiecznych związków chemicznych lub substancji, które mogły reagować z zawartymi w materiałach murowych. Niebezpieczne związki obejmują sole, które w obecności wilgoci mogą ulegać rozkładowi, np. siarczan wapnia i sole sodowe, czasami obecne w cemencie portlandzkim, mogą się ługować z biegiem czasu, uszkadzając otaczające materiały muru.

Kompatybilność wilgotnościowa zapewnia jednakowy rozkład wilgoci w murze, a w szczególności brak koncentracji w niektórych jego częściach, np. w materiale zabytkowym. Nie może także dochodzić do nadmiernego podciągania kapilarnego w wyniku zastosowania zaprawy rekonstrukcyjnej.

Kompatybilność wymiarowa dotyczy kilku parametrów. Jako pierwsze należy wymienić moduł sprężystości i współczynnik pełzania, które niewłaściwie dobrane mogą doprowadzić do koncentracji naprężeń w jednym z materiałów. Podobne znaczenie ma współczynnik rozszerzalności termicz-

nej, który określa zmiany wymiarów w odniesieniu do zmian temperatury i powinien być zbliżony w przypadku obydwu materiałów, ponieważ jego duża różnica może powodować naprężenia na powierzchni kontaktu tych materiałów.

Kompatybilność pod względem przyczepności jest związana zarówno z zaprawą rekonstrukcyjną, jak i właściwościami podłoża. Im większa przyczepność, tym lepsza współpraca między obydwoma materiałami i lepsze właściwości użytkowe układu kompozytowego.

Ważnym aspektem jest także **kompatybilność historyczno-estetyczna**. Zaprawa rekonstrukcyjna jako materiał używany do zabytkowej materii musi zapewniać autentyczność dziedzictwa, a więc kolor, faktura, estetyka i zastosowane materiały muszą tworzyć całość zbliżoną do oryginału.

Należy też podkreślić duże znaczenie **kompatybilności bioekologicznej** związanej z ideą zrównoważonego rozwoju. Ocena zaprawy renowacyjnej pod względem bioekologicznym wiąże się z pochodzeniem surowców użytych do jej produkcji, procedurą produkcji surowców oraz z cyklem życia zaprawy, jak również jej wpływem na

ludzi i środowisko, a także trwałością, co wpływa na częstotliwość ewentualnych późniejszych działań naprawczych. Promuje się używanie materiałów ekologicznych, zrównoważonych, ograniczających zużycie energii zarówno na ich pozyskanie, jak i wytworzenie zaprawy [16].

Kompatybilność jest więc zagadnieniem niezwykle złożonym i trudnym do oceny. Biorąc jednak pod uwagę wszystkie wymienione aspekty, **podjęto próbę stworzenia narzędzia umożliwiającego**

ocenę ryzyka zastosowania rozwiązania rekonstrukcyjnego do murów kamiennych na zaprawie glinianej, które posłużyć może w przyszłości do wyboru najlepszego rozwiązania z grupy wielu dostępnych.

Wskaźnik ryzyka zastosowania materiału rekonstrukcyjnego w konstrukcjach kamiennych na zaprawie glinianej

Bazując na literaturze [17÷19] i doświadczeniach własnych, stworzono tabele pozwalające na określenie wartości niekompatybilności w przypadku podanych kryteriów: materiałowych (tabela 1); realizacyjnych (tabela 2) i środowiskowych (tabela 3). Ocena każdego z nich dokonywana jest w skali od 0 do 10, gdzie 0, to wartość o najlepszej kompatybilności, zaś 10 – rozwiązanie najdalsze od rozwiązania kompatybilnego (o największej wartości niekompatybilności). W wyniku badania laboratoryjnego i określenia wartości poszczególnych kryteriów możliwe będzie obliczenie wskaźnika ryzyka zastosowania rozwiązania rekonstrukcyjnego.

Nie zawsze możliwe będzie określenie wartości każdej z wymienionych cech, ale im większą uzyska się pulę ocen, tym bardziej reprezentatywna będzie wartość końcowego wskaźnika ryzyka zastosowania materiału rekonstrukcyjnego, który można obliczyć wg wzoru:

$$W_R = \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_n^2}{n}}$$

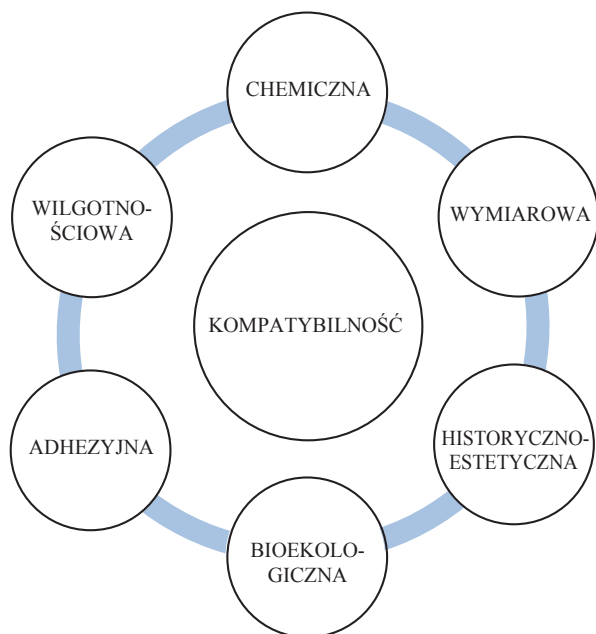
gdzie:

W_R – wskaźnik ryzyka zastosowania rozwiązania rekonstrukcyjnego,

R_1, \dots, R_n – oceny poszczególnych cech/właściwości,

n – liczba ocen.

W_R przyjmuje wartości od 0 do 10, gdzie 0 to rozwiązanie najlepsze, o najmniejszym ryzyku jego zastosowania, a 10 – najbardziej ryzykowane, czyli o wysokiej niekompatybilności interwencji. W przypadku zastosowanego rozwiązania w Tanais wartość wskaźnika wynosiła 1,2, co oznacza niewielkie ryzyko zastosowania wybranej zaprawy rekonstrukcyjnej [20]. Podaną formułę



Rys. 2. Właściwości, które wpływają na kompatybilność zaprawy rekonstrukcyjnej

Fig. 2. Properties, which have influence on the compatibility of reconstruction mortar

Tabela 1. Kryteria materiałowe zaprawy rekonstrukcyjnej i wartości ich oceny
Table 1. Material criteria for the reconstruction mortar and the values for their evaluation

Kryteria materiałowe	Wskaźnik kompatybilności	Ryzyko niekompatybilności
Skład chemiczny i mineralogiczny	rodzaj spoiwa, rodzaj kruszywa	podobne → 0 różne → 10
Porowatość	P_k – porowatość kamienia, P_z – porowatość zaprawy	$0,9 P_k < P_z < 1,1 P_k$ → 0 $0,7 P_k < P_z < 0,9 P_k$ → 5 $P_z < 0,7 P_k$ → 10
Estetyka (kolor, tekstura)		podobne → 0 różne → 10
Właściwości termiczne	współczynnik rozszerzalności termicznej	$0,9 \xi_k < \xi_z < 1,1 \xi_k$ → 0 $0,7 \xi_k < \xi_z < 0,9 \xi_k$ → 5 $\xi_z < 0,7 \xi_k$ → 10
Właściwości mechaniczne	wytrzymałość na zginanie wytrzymałość na ściskanie moduł sprężystości	różnica mniejsza niż 10% → 0 różnica między 10% a 50% → 5 różnica większa niż 50% → 10
Właściwości wilgotnościowe	nasiąkliwość paroprzepuszczalność	różnica mniejsza niż 10% → 0 różnica między 10% a 50% → 5 różnica większa niż 50% → 10
Obecność soli	obecność soli w podłożu	brak soli → 0 nieznaczące ilości soli → 5 duże ilości soli → 10

Tabela 2. Kryteria realizacyjne zaprawy rekonstrukcyjnej i wartości ich oceny
Table 2. Implementation criteria for the reconstruction mortar and the values for their evaluation

Kryteria realizacyjne	Wskaźnik kompatybilności	Ryzyko niekompatybilności
Koncepcja i planowanie		prawidłowe → 0 braki/wątpliwości → 5 nieprawidłowe → 10
Skład zespołu	kompetencje zespołu określenie zakresu obowiązków	prawidłowe → 0 braki/wątpliwości → 5 nieprawidłowe → 10
Koszty	plan kosztów	prawidłowo przeanalizowane → 0 braki/wątpliwości → 5 krytyczne braki → 10
Etyka i zasady konserwacji	minimalna interwencja, odwracalność interwencji ocena kompatybilności efektywność i nieszkodliwość	prawidłowo przeanalizowane → 0 braki/wątpliwości → 5 krytyczne braki → 10
Plan nadzoru	ocena trwałości inspekcje i nadzór	prawidłowe → 0 braki/wątpliwości → 5 krytyczne braki → 10
Dokumentacja rekonstrukcji	dokumentacja stanu wyjściowego dokumentacja interwencji	prawidłowe → 0 braki/wątpliwości → 5 krytyczne braki → 10

można rozszerzyć także o wagi dotyczące każdej z cech albo grupy kryteriów, jeśli zależy nam na uwypukleniu bądź pominięciu jakiegoś z aspektów oceny w konkretnym przypadku. Narzędzie to może stanowić sposób na ocenę kompatybilności zastosowanego rozwiązania naprawczego, ale także umożliwić wybór najmniej ryzykownego rozwiązania spośród kilku dostępnych lub rozważanych w przypadku danego działania rekonstrukcyjnego.

Wnioski

Ocena ryzyka zastosowania rozwiązania rekonstrukcyjnego jest zagadnieniem złożonym i zależnym od wielu czynników, które niejednokrotnie są bardzo trudne w ocenie. W trosce o zabytkową materię powinny być one za każdym razem przeanalizowane z największą dokładnością tak, aby do prac rekonstrukcyjnych zostało wybrane rozwiązanie stwarzające najmniejsze ryzyko aplikacji. Przydatna do takiej analizy może okazać się zaprezentowana metoda, wykorzystywana przez Zespół Budownictwa Ogólnego Wydziału Inżynierii Lądowej do oceny różnych rozwiązań rekonstrukcyjnych murów kamiennych na zaprawie glinianej. Zaproponowane narzędzie umożliwi ocenę kompatybilności przyjętego rozwiązania rewitalizacyjnego, uwzględniając kryteria materiałowe, środowiskowe oraz realizacyjne. Dzięki temu w możliwie pełny sposób wskazuje prawidłowy kierunek działań konserwatorskich oraz uwidacznia wszystkie możliwe zagrożenia, jakie mogą pojawić się podczas prac rekonstrukcyjnych. Otrzymana wartość wskaźnika ryzyka zastosowania materiału zastępczego pozwala na umiejscowienie rozwiązania na dziesięciostopniowej skali, ułatwiając dobór rozwiązania w przypadku wątpliwości dotyczących jego zastosowania. Za każdym razem powinny zostać podjęte próby ograniczenia wartości tego wskaźnika. Naszym zdaniem rozsądne wartości wskaźnika ryzyka znajdują się w przedziale 0–4 (w przypadku Tanais aplikacja rozwiązania o wskaźniku 1,2 nie wykazała oznak niekompatybilności). W przyszłości planowane jest rozszerzenie omówionej metody do formy aplikacji wspomagającej wybór rozwiązania rekonstrukcyjnego.

Tabela 3. Kryteria środowiskowe zaprawy rekonstrukcyjnej i wartości ich oceny
Table 3. Environmental criteria for the reconstruction mortar and the values for their evaluation

Kryteria środowiskowe	Wskaźnik kompatybilności	Ryzyko niekompatybilności
Klimat	temperatura	dotądnie temperatury i niewielkie dzienne wahania → 0
		częste dzienne amplitudy o więcej niż 10°C → 5
		często przechodzące do wartości ujemnych → 10
	wilgotność względna	zwykle mniejsza niż 40% → 0
		zwykle większa niż 80% → 5
		zwykle zmieniająca się między 40% a 80% → 10
	opad	zwykle mniejszy niż 200 mm → 0
		zwykle pomiędzy 200 mm a 1000 mm → 5
		ponad 1000 mm → 10
	wiatr	inne sytuacje → 0
częste porywiste wiatry w głębi lądu → 5		
promieniowanie słoneczne	częste porywiste wiatry nad wodą → 10	
	poniżej 2000 h/rok → 0	
	powyżej 2000 h/rok, brak bezpośredniej ekspozycji → 5	
		powyżej 2000 h/rok, bezpośrednia ekspozycja → 10
Zanieczyszczenia		małe → 0
		średnie → 5
		duże → 10
Woda gruntowa		woda gruntowa poniżej 2 m od poziomu fundamentów → 0
		woda gruntowa powyżej 2 m od poziomu fundamentów, średnia zawartość soli/zanieczyszczeń → 5
		woda gruntowa powyżej 2 m od poziomu fundamentów, znaczna zawartość soli/zanieczyszczeń → 10
Grunt		neutralny → 0
		średnio skażony/kwaśny grunt → 5
		bardzo skażony/kwaśny grunt → 10
Odległość od morza		>5000 m → 0
		<5000 m → 5
		<500 m → 10
Zagrożenia naturalne	powódź	małe ryzyko → 0
	lawina	średnie ryzyko → 5
	osuwisko	duże ryzyko → 10
	trzęsienie ziemi	

Literatura

- [1] Dziennik Ustaw 1996 r., nr 120, poz. 564 Europejska konwencja o ochronie dziedzictwa archeologicznego (poprawiona), 16.01.1992 La Valetta.
- [2] Adam JP. Roman Building: Materials and Technique. Routledge; 1999.
- [3] Vitruvius Pollio M. The Ten Books on Architecture. Courier Dover Publications; 1960.
- [4] Terlikowski W, Wasilewski K, Sobczyńska E. Approach to conservation of irregular stone masonry based on archaeological excavations in the Black Sea basin. MATEC Web of Conferences 2018: 49, 1-9.
- [5] PN-B-14501:1955 Zaprawy cementowo-gliniane.
- [6] PN-B-14501:1965 Zaprawy budowlane cementowo-gliniane.
- [7] BN-62/6738-01:1962 Masy cementowo-gliniane z wypełniaczami.
- [8] BN-62/6738-02:1962, Budownictwo z gliny – masy gliniane.
- [9] BN-62/6749-02:1962 Pustaki cementowo-gliniane; dymowe, spalinowe, wentylacyjne.
- [10] BN-62/8841-04:1962 Budownictwo z gliny. Ściany z gliny ubitej. Warunki techniczne wykonania i odbioru.
- [11] BN-62/9012-01:1962 Cegły i bloki cementowo-gliniane z wypełniaczami.
- [12] Hall MR, Rick L, Krayenhoff M. Modern earth buildings. Materials, engineering, construction and applications, 2012.
- [13] ASTM C1713-17, 2017, Standard Specification for Mortars for the Repair of Historic.
- [14] Moropoulou A, Bakolas A, Moundoulas P, Aggelakopoulou E. Reverse engineering: a proper methodology for compatible restoration mortars. In: Proceedings of the workshop repair mortars for historic masonry, TC RMH. Delft: RILEM; 2005:25-8.
- [15] Michalak J. Refleksje nad pojęciem ryzyka, Ruch Praw., Ekonom. I Socjol., 2004, zeszyt 1.
- [16] Apostolopoulou M, Aggelakopoulou E, Bakolas A, Moropoulou A. Compatible Mortars for the Sustainable Conservation of Stone in Masonries, Advanced Materials for the Conservation of Stone, 2018.
- [17] Delgado Rodrigues J, Grossi A. Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions. J Cult Herit. 2007; 8:32-43.
- [18] Moundoulas P. Design and evaluation methodology of compatible restoration mortars for historic monuments according to their mineralogic – physicochemical and physicochemical characteristics. PhD thesis, National Technical University of Athens; 2004.
- [19] Isebaert A, Van Parys L, Cnudde V. Composition and compatibility requirements of mineral repair mortars for stone – A review, J. Civ. Eng. Environ. Archit. 2014; 59:32-50.
- [20] Sobczyńska E, Terlikowski W, Gregoriou-Szczepaniak M. Stability of treatment from earth-based mortar in conservation of stone structures in Tanais, Russia. Sustain., 2021; 13:1-20, DOI:10.3390/su13042220.

Przyjęto do druku: 22.09.2022 r.