

dr inż. Ewa Sobczyńska¹⁾

ORCID: 0000-0002-5211-6158

Requirements for the reconstruction earth-based mortars based on national and international standards

Wymagania stawiane rekonstrukcyjnym zaprawom glinianym na bazie krajowych i międzynarodowych standardów

DOI: 10.15199/33.2025.12.27

Abstract. Earth is currently an increasingly popular binder, especially in the reconstruction of historic buildings. Due to the growing demand for guidelines necessary for the proper design of earth-based mortar composition (both for newly designed and historic structures) and the lack of uniform guidelines, this article attempts to systematize national and international requirements for earth-based mortars.

Keywords: earth-based mortar; standards; reconstruction.

Streszczenie. Gлина является все более популярным связующим, особенно во время реконструкции объектов исторического назначения. Ввиду растущего спроса на руководства необходимые для правильного проектирования состава глиняного раствора (как для новых, так и для исторических сооружений) и отсутствия единых руководств, в данной статье предпринята попытка систематизации национальных и международных требований к глиняным растворам.

Słowa kluczowe: zaprawa gliniana; standardy; rekonstrukcja.

Earth is currently an increasingly popular binder, not only in the form of mortars for various purposes [1, 2, 3], but also as a material for rammed earth walls or blocks [4, 5]. This material fits perfectly into the pursuit of low-emission construction [6]. Moreover, it is very often used in historic buildings. Examples include stone walls built with earth-based mortar in historic masonry structures in the Black Sea Basin [7] (photo a), as well as the structure of a mosque made of dried bricks, also joined with earth-based mortar [8] (photo b), in the reconstruction of which the Fundamentals of Building Team of the Warsaw University of Technology participated. Due to the growing demand for guidelines necessary for the proper design of

Gлина является все более популярным связующим, не только в postaci растворов с разным назначением [1, 2, 3], ale также jako материал на стены из земли утрамбованной или блоков [4, 5]. Материал этот вписывается идеально в стремление к низкоэмиссионности конструкции [6]. Ponadto można go niezwykle часто spotkać w конструкциях исторических. Примером являются каменные стены на глиняном растворе в исторических сооружениях в бассейне Черного моря [7] (фотография a), как также конструкция мечети из обожженной кирпичной кладки, также соединенной на глиняном растворе [8] (фотография b), при реконструкции которых принимал участие Зespół Budownictwa Ogólnego Politechniki Warszawskiej. Ввиду на все большее запотребование на вытчные неизбежные



Stone walls on earth-based mortar (a), Tanais (Russia); mosque made of dried bricks on earth-based mortar (b), Old Dongola (Sudan)
Mury kamienne na zaprawie glinianej (a), Tanais (Rosja); meczet z cegły suszonej na zaprawie glinianej (b), Old Dongola (Sudan)

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, ewa.sobczynska@pw.edu.pl

earth-based mortar composition (both for newly designed and historic structures), this article attempts to systematize national and international requirements for earth-based mortars.

Standards for reconstructive earth-based and cement-earth mortar in Poland and worldwide

In the 1960s, standards for cement-earth mortars, which are now withdrawn (table 1, items 1 – 2) and technical standards for earth construction (table 1, items 3 – 7) were published in Poland. Currently, according to the Polish Committee for Standardization, these are only archival references, as there are no applicable standards for earth-based mortars in Poland.

Over the past thirty years, nearly forty documents on earth-based construction have been published worldwide, originating from nineteen countries [9]. They contain references to earth-based mortar intended for use in earth structures, e.g. made of blocks or dried bricks. The standards are summarized in table 2 [9]. Provisions concerning the properties of mortars used as reconstruction mortars should be also mentioned. The standard that directly refers to the properties of such mortars is the American standard ASTM C1713-17 [10], whose provisions have been repeated and expanded by the guidelines of the international association RILEM [11].

Standardized properties of reconstructive earth-based mortar

Based on the literature and available standards, a summary of the properties of earth-based mortars contained in individual documents was prepared (tables 1 and 2). The analysis made it possible to identify the important properties of such mortars that should be taken into account during the design process.

do właściwego zaprojektowania składu zaprawy glinianej (zarówno do konstrukcji nowo projektowanych, jak i zabytkowych) w artykule podjęto próbę usystematyzowania krajowych i międzynarodowych wymagań stawianych zaprawom glinianym.

Normalizacja dotycząca rekonstrukcyjnej zaprawy glinianej i cementowo-glinianej w Polsce i na świecie

W latach sześćdziesiątych XX wieku opublikowano w Polsce normy dotyczące zapraw cementowo-glinianych, które są obecnie wycofane (tabela 1, pozycje 1 – 2) oraz normy branżowe dotyczące budownictwa z gliny (tabela 1, pozycje 3 – 7). Obecnie wg Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, stanowią one jedynie źródła archiwalne, ponieważ nie ma w Polsce obowiązujących norm dotyczących zapraw glinianych.

Na świecie, w ciągu ostatnich trzydziestu lat, zostało wydanych prawie czterdzieści dokumentów dotyczących budownictwa z gliny pochodzących z dziewiętnastu krajów [9]. Można w nich znaleźć wzmianki dotyczące zaprawy glinianej przeznaczonej do wykonywania konstrukcji z gliny, np. z bloczków czy cegieł suszonych. Normy zostały podane w tabeli 2 [9]. Należy też wspomnieć o zapisach dotyczących właściwości zapraw używanych jako zaprawy rekonstrukcyjne. Normą, która bezpośrednio odnosi się do właściwości takich zapraw, jest amerykańska norma ASTM C1713-17 [10], której zapisy zostały powtórzone oraz rozszerzone przez wytyczne międzynarodowego stowarzyszenia RILEM [11].

Znormalizowane właściwości rekonstrukcyjnej zaprawy glinianej

Na podstawie literatury i dostępnych norm sporządzono zestawienie właściwości zapraw glinianych zawartych w poszczególnych dokumentach (tabele 1 i 2). Analiza pozwoliła na wskazanie istotnych właściwości takich zapraw, które należy uwzględnić podczas procesu ich projektowania.

Table 1. Polish standards for cement-earth mortars and earth-based construction

Tabela 1. Polskie normy dotyczące zapraw cementowo-glinianych i budownictwa z gliny

Standard number/ Numer normy	Title of the standard/Tytuł normy
PN-B-14501:1965	“Cement-earth construction mortars” (withdrawn in 1975)/„Zaprawy budowlane cementowo-gliniane” (wycofana w 1975)
PN-B-14501:1955	“Cement-earth mortars” (withdrawn in 1967)/„Zaprawy cementowo-gliniane” (wycofana w 1967)
BN-62/6738-1	“Cement-earth mixtures with fillers”/„Masy cementowo-gliniane z wypełniaczami”
BN-62/8841-04	“Earth construction. Rammed earth walls. Technical conditions for execution and acceptance.”/„Budownictwo z gliny. Ściany z gliny ubijanej. Warunki techniczne wykonania i odbioru”
BN-62/6749-02	“Cement-earth smoke, exhaust, and ventilation blocks”/„Pustaki cementowo-gliniane, dymowe, spalinowe, wentylacyjne”
BN-62/9012-01	“Cement-earth bricks and blocks with fillers”/„Cegły i bloki cementowo-gliniane z wypełniaczami”

Table 2. Overview of international standards for earth-based mortars, based on [9]

Tabela 2. Przegląd międzynarodowych norm dotyczących zapraw glinianych, na podstawie [9]

Country/Kraj	Document/Dokument
Australia	EBAA (2004)
Germany/Niemcy	Lehmbau Regeln (2009)
Germany/Niemcy	TM 05 (2011)
Germany/Niemcy	DIN 18946 (2018)
New Zealand/ Nowa Zelandia	NZS 4297-9 (1998)
Switzerland/ Szwajcaria	Regeln zum Bauen mit Lehm (1994)
USA	14.7.4 NMAC (2009)
USA	ASTM E2392/E2392M (2010)

Table 4 presents, based on RILEM guidelines [11], the key properties of mortars used for reconstruction depending on the function of the mortar, together with the assignment of a rating of 0 to 3 points for the importance of a given property. This table allows to determine which of the presented features are important for a given type of reconstruction mortar.

It should be noted that in the case of reconstruction mortars, some of the properties required for analysis correspond to the requirements in table 3. There are also new ones, such as Young's modulus or aesthetic aspects, which are not included in the general standards for earth-based mortars and relate mainly to the reconstruction process and the associated compatibility of materials. Compatibility is a complex issue and difficult to analyze, as there are many parameters that determine its achievement and they are interdependent. In general, a material

W tabeli 4 przedstawiono, na podstawie wytycznych RILEM [11], kluczowe właściwości zapraw stosowanych do rekonstrukcji w zależności od funkcji zaprawy wraz z przypisaniem danej właściwości oceny jej istotności w skali od 0 do 3 punktów. Tabela ta pozwala na określenie, które z zaprezentowanych cech są istotne w przypadku danego typu zaprawy rekonstrukcyjnej.

Należy podkreślić, że w przypadku zapraw rekonstrukcyjnych część właściwości wymaganych do analizy pokrywa się z wymaganiami z tabeli 3. Pojawiają się też nowe, tj. moduł Younga czy aspekty estetyczne, niezawarte w ogólnych normach dotyczących zapraw glinianych, a odnoszące się przede wszystkim do rekonstrukcji i związanej z nią kompatybilności materiałów. Kompatybilność jest zagadnieniem złożonym i trudnym do analizy, gdyż parametrów decydujących o jej osiągnięciu jest wiele i są wzajemnie od siebie zależne. W ogólnej definicji materiał kompatybilny z materiałem zabyt-

Table 3. Properties of earth-based mortar included in national and international standards

Tabela 3. Właściwości zaprawy glinianej ujęte w krajowych i międzynarodowych standardach

Standard/document/ Norma/dokument	Country/ Kraj	Reference/ Odwołanie	Grain size/ Uziarnienie	Bulk density/ Gęstość nasy-powa	Content of organic substances and pyrites/ Zawartość substancji organicznych i pirytów	Salt content/ Zawartość soli	Consistency/ Konsystencja	Compressive strength/ Wytrzymałość na ściskanie	Adhesion/ Przyczepność	Shrinkage/ Skurcz	Frost resistance/ Mrozooporność	Water erosion/ Erozja wodna	Water absorption/ Nasiąkliwość	Heat transfer coefficient/ Współczynnik przenikania ciepła	Vapor permeability/ Paropruszczalność
PN-B-14501:1965	Poland	[12]	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		
PN-B-14501:1955		[13]	x	x	x	x	x	x							
Lehmbau Regeln (2009)	Germany	[14]	x	x						x				x	x
DIN 18946 (2018)		[15]	x	x		x	x	x	x	x				x	x
ASTM E2392/E239 M (2010)	USA	[16]	this standard does not contain detailed information on the requirements for mortars/ norma nie zawiera dokładnych informacji o wymaganiach dla zapraw												
14.7.4 NMAC (2009)		[17]													
NZS 4298:1998	New Zealand	[18]	x		x	x		x		x		x			

Table 4. Properties of reconstruction mortars in reference to mortar function [11]

Tabela 4. Właściwości zapraw rekonstrukcyjnych w odniesieniu do funkcji zaprawy [11]

Requirement/Wymaganie	Mortar function/Funkcja zaprawy				
	bedding/ murowanie	pointing/ spoinowanie	exterior rendering/ tynkowanie na zewnątrz	infill in multi-layer walls/ wypełnienie w ścianach warstwowych	interior plastering/ tynkowanie wewnątrz
Adhesion/Przyczepność	3	3	3	2	3
Compressive strength/Wytrzymałość na ściskanie	2	2	1	2	1
Young's modulus/Moduł Younga	3	3	2	3	1
Aesthetic aspects/Aspekty estetyczne	1	3	3	0	3
Frost resistance and salt resistance/ Mrozooporność i odporność na działanie soli	2	3	3	1	0
Thermal expansion/Rozszerzalność cieplna	1	2	3	1	3
Vapor permeability/Paropruszczalność	2	3	3	1	3
Water erosion/Erozja wodna	2	3	3	1	1

Legend/Legenda: 0 – insignificant property/0 – właściwość niemająca znaczenia, 3 – the most important property/3 – właściwość o największym znaczeniu.

compatible with a historic material is one that will not cause chemical changes in it, will not initiate or intensify the deterioration of the historic structure, and will ensure its uniform working conditions and the possibility of returning to the state prior to the repair work (reversibility of the reconstruction process). Several types of compatibility can be classified [19, 20]: **chemical compatibility** (the reconstruction mortar must not introduce harmful chemical compounds into the historic structure); **moisture** (uniform moisture distribution in the wall); **dimensional** (no stress concentration); **mechanical** (adhesion, adequate strength); **historical and aesthetic** (authenticity of heritage).

Standard and literature recommendations for the required properties of earth-based reconstruction mortar

Grain size and bulk density. According to the withdrawn Polish standard PN-B-14501:1965 [12], the following types of earth may be used for mortar:

- fatty with a sand content of up to 3% (fraction 0,63 – 2 mm);
- medium-fat with a sand content of 3- 15%;
- lean with a sand content of 15-30%.

According to the German standard DIN 18946:2018-12 [15], earth-based masonry mortars are divided into bulk density classes: 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2. Mortar for load-bearing wall must correspond to at least density class 1,6. According to the NZS 4298:1998 [15], mortars shall not contain particles larger than half the minimum joint thickness, i.e. 1 cm for cement-stabilized mortars and 2 cm for earth-based mortars.

Organic substance and pyrite content. The permissible standard content of organic substances and pyrites in earth-based mortars was specified only in the withdrawn Polish standard PN-B-14501:1965 [12]. According to this standard, organic substances may only be present in trace amounts, while the content of iron sulfides (pyrites) calculated as sulfur may be 0,4% by weight. According to the NZS 4298:1998 standard [18], the earth used may not contain organic substances susceptible to decay and decomposition.

Harmful salt content. According to DIN 18946:2018-12 [15], earth-based masonry mortar may contain harmful salts in quantities not exceeding: nitrates $\leq 0,02\%$ by weight; sulfates $\leq 0,10\%$ by weight; chlorides $\leq 0,08\%$ by weight. In addition, the total content must not exceed 0,12% by weight. According to standard NZS 4298:1998 [18], earth may not contain soluble salts that could affect the strength or durability of the structure.

Consistency. According to the withdrawn Polish standard PN-B-14501:1965 [12], the consistency of mortar according to the measuring cone, specified in accordance with the currently applicable standard PN-B-04500:1985 [21] for earth-based masonry mortars, should be between 6 and 9 cm. According to the German standard DIN 18946:2018-12 [15],

kowym to taki, który nie doprowadzi w nim do zmian chemicznych, nie zainicjuje ani nie nasili zjawisk niszczenia konstrukcji zabytkowej oraz zapewni jej jednorodne warunki pracy oraz możliwość powrotu do stanu sprzed działań naprawczych (odwracalność procesu rekonstrukcji). Można sklasyfikować kilka rodzajów kompatybilności [19, 20]: **kompatybilność chemiczna** (zaprawa rekonstrukcyjna nie może wprowadzać szkodliwych związków chemicznych do zabytkowego układu); **wilgotnościowa** (jednakowy rozkład wilgoci w murze); **wymiarowa** (brak koncentracji naprężeń); **mechaniczna** (przyczepność, odpowiednia wytrzymałość); **historyczno-estetyczna** (autentyczność dziedzictwa).

Zalecenia normowe i literaturowe dotyczące wymaganych właściwości glinianej zaprawy rekonstrukcyjnej

Uziarnienie i gęstość nasypowa. Zgodnie z wycofaną już polską normą PN-B-14501:1965 [12], do zaprawy może być stosowana glina:

- tłusta o zawartości piasku do 3% (frakcja 0,63 – 2 mm);
- średnio tłusta o zawartości piasku 3 – 15%;
- chuda o zawartości piasku 15 – 30%.

Zgodnie z niemiecką normą DIN 18946:2018-12 [15], zaprawy murarskie z gliny dzieli się na klasy gęstości nasypowej: 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2. Zaprawa do muru nośnego musi odpowiadać co najmniej klasie gęstości 1,6. Zgodnie z normą NZS 4298:1998 [15], zaprawy nie mogą zawierać cząstek większych niż połowa minimalnej grubości spoin – tj. w przypadku zapraw stabilizowanych cementem 1 cm, a zapraw na bazie gliny 2 cm.

Zawartość substancji organicznych i perytów. Norma dopuszczalna zawartość substancji organicznych i perytów w zaprawach glinianych określona była jedynie w wycofanej już polskiej normie PN-B-14501:1965 [12]. Zgodnie z nią substancje organiczne mogą występować tylko w ilościach śladowych, a zawartość siarczków żelaza (peryty) w przeliczeniu na siarkę powinna wynosić 0,4% masy. Zgodnie z normą NZS 4298:1998 [18], zastosowana glina nie może zawierać substancji organicznych podatnych na gnienie i rozpad.

Zawartość szkodliwych soli. Zgodnie z DIN 18946:2018-12 [15], zaprawa murarska z gliny może zawierać szkodliwe sole w ilościach nie większych niż: azotany $\leq 0,02\%$ masy; siarczany $\leq 0,10\%$ masy; chlorki $\leq 0,08\%$ masy. Ponadto, całkowita zawartość nie może przekraczać 0,12% masy. Zgodnie z normą NZS 4298:1998 [18], glina nie może zawierać rozpuszczalnych soli, które mogłyby wpłynąć na wytrzymałość lub trwałość konstrukcji.

Konsystencja. Zgodnie z wycofaną już polską normą PN-B-14501:1965 [12], konsystencja zaprawy wg stożka pomiarowego, określonego wg normy PN-B-04500:1985 [21], powinna wynosić w przypadku zapraw murarskich z gliny 6 – 9 cm. Zgodnie z normą niemiecką DIN 18946:2018-12 [15], aby dostosować konsystencję świeżej zaprawy murarskiej na placu budowy, producent powinien podać informacje dotyczące wymaganej ilości wody. Zgodnie z normą

in order to adjust the consistency of fresh masonry mortar on the construction site, the manufacturer must provide information on the required amount of water. According to the NZS 4298:1998 [18], the mortar should not be excessively wet so that it does not run off the substrate to which it is applied during laying.

Compressive strength. According to the withdrawn Polish standard PN-B-14501:1965 [12], M8, M15, M30, M50 cement-earth mortars (compressive strength of 0,8, 1,5, 3, and 5 N/mm², respectively) should be used for masonry work in buildings, and according to the German standard DIN 18946:2018-12 [15], earth-based mortar for load-bearing walls must have a compressive strength of at least 2 N/mm². Earth-based mortar for non-load-bearing walls must be sufficiently strong for the intended use, and a value of 1 N/mm² is usually sufficient. In accordance with the guidelines for the conservation of historic materials [10, 11], mortar with the lowest compressive strength that meets the other criteria should be used.

The adhesion of hardened mortar in accordance with Polish standard PN-B-14501:1965 [12] should be at least 0,002 N/mm² for M2, M4, M8 mortars, and 0,01 N/mm² for M15, M30, and M50 mortars. According to German standard DIN 18946:2018-12 [15], the adhesion of earth-based mortars should be no less than 0,04 N/mm², and in accordance with conservation assumptions, the mortar used should have such adhesion that in a tensile test between the mortar and the masonry element, the destruction occurs in the mortar or, alternatively, at the connection with the masonry element [11].

The linear shrinkage of hardened mortar in accordance with Polish standard PN-B-14501:1965 [12], should not exceed 0,1% for M30 and M50 mortars, while for M2, M4, M8, M15 mortars, the shrinkage value is not specified. According to German standard DIN 18946:2018-12 [15], the linear drying shrinkage of earth-based mortars should not exceed 2,5%, while fiber-reinforced masonry mortar may have a linear drying shrinkage of up to 4,0%. According to the NZS 4298:1998 standard [18], the linear shrinkage of cement-earth mortars should be less than 1,0%, and that of earth-based mortars without stabilizing additives 3,0%.

Frost resistance and salt resistance. According to Polish standard PN-B-14501:1965 [12], cement-earth mortar should be frost-resistant, i.e. the average strength of samples subjected to 25 cycles of freezing and thawing should not be less than 80% of the average strength of unfrozen samples made from the same mortar. According to conservation guidelines [10, 11], the mortar should be resistant to expected environmental loads (e.g., freeze-thaw cycles, salts, wind erosion, acid rain, and biological factors).

The resistance of earth-based mortar to water erosion should be analyzed in accordance with standard NZS 4298:1998 [18]. Such testing can be performed using the Geelong test (falling water drop) or the pressurized water spray method. In both cases, the erosion index is determined, which must take a value between 1 and 4.

NZS 4298:1998 [18], zaprawa nie powinna być nadmiernie mokra, aby podczas układania nie spływała z podłoża, na które jest aplikowana.

Wytrzymałość na ściskanie. Zgodnie z wycofaną polską normą PN-B-14501:1965 [12], do murowania ścian budynków należy używać zapraw cementowo-glinianych marki M8, M15, M30, M50 (wytrzymałość na ściskanie równa odpowiednio 0,8, 1,5, 3 i 5 N/mm²), a wg normy niemieckiej DIN 18946:2018-12 [15] zaprawa murarska z gliny do murów nośnych musi mieć wytrzymałość na ściskanie co najmniej 2 N/mm². Zaprawa murarska z gliny do murów nienośnych powinna być dostatecznie wytrzymała do zamierzonego zastosowania i zwykle wystarczająca okazuje się wartość 1 N/mm². Zgodnie z wytycznymi dotyczącymi konserwacji materiałów zabytkowych [10, 11] należy stosować zaprawę o najmniejszej wytrzymałości na ściskanie, spełniającej jednocześnie pozostałe kryteria.

Przyczepność stwardniałej zaprawy zgodnie z normą polską PN-B-14501:1965 [12], powinna wynosić co najmniej 0,002 N/mm² w przypadku zapraw marek M2, M4, M8 oraz 0,01 N/mm² w przypadku marek M15, M30, i M50. Zgodnie z normą niemiecką DIN 18946:2018-12 [15], przyczepność zapraw glinianych powinna wynosić nie mniej niż 0,04 N/mm², a wg założeń konserwatorskich zastosowana zaprawa powinna mieć taką przyczepność, aby w próbie rozciągania pomiędzy zaprawą a elementem murowym zniszczenie nastąpiło w zaprawie lub alternatywnie na styku z elementem murowym [11].

Skurcz liniowy stwardniałej zaprawy, zgodnie z polską normą PN-B-14501:1965 [12], nie powinien przekraczać 0,1% w przypadku zapraw marek M30 i M50, a w przypadku marek M2, M4, M8, M15 nie określa się wielkości skurczu. Zgodnie z normą niemiecką DIN 18946:2018-12 [15] liniowy skurcz wysychania zapraw glinianych nie powinien przekraczać 2,5%, natomiast zaprawa murarska wzmocniona włóknem może mieć skurcz liniowy wysychania do 4,0%. Zgodnie z normą NZS 4298:1998 [18], liniowy skurcz zapraw cementowo-glinianych powinien być mniejszy niż 1,0%, a zapraw z gliny bez dodatków stabilizujących 3,0%.

Mrozoodporność i odporność na działanie soli. Zgodnie z polską normą PN-B-14501:1965 [12], zaprawa cementowo-gliniana powinna być odporna na działanie mrozu, tj. średnia wytrzymałość próbek poddanych 25-krotnemu zamrażaniu i rozmrażaniu nie powinna być mniejsza niż 80% wartości średniej wytrzymałości próbek niezamrożonych, wykonanych z tej samej zaprawy. Zgodnie z wytycznymi konserwatorskimi [10 i 11], zaprawa powinna wykazywać odporność na spodziewane obciążenia środowiskowe (np. cykl zamrażania-rozmrażania, sole, erozję wietrzną, kwaśne deszcze i czynniki biologiczne).

Odporność na erozję wodną zaprawy glinianej należy przeanalizować zgodnie z normą NZS 4298:1998 [18]. Badanie takie można przeprowadzić przy użyciu testu Geelonga (opadającej kropli wody) lub metody natrysku wody pod ciśnieniem. W obu przypadkach określa się **wskaźnik erozyjności**, który musi przyjmować wartość od 1 do 4.

Water absorption. According to Polish standard PN-B-14501:1965 [12], the water absorption of cement-earth mortars should not exceed 20% for M2, M4, and M8 mortars and no more than 15% for M15, M30, and M50 mortars. The water absorption of mortar and masonry material should have similar values (moisture compatibility) [11].

Capillary rise. Water absorption by capillary rise is a parameter that appears in the literature in relation to the compatibility of the solution used [20, 22]. Similarly to water absorption, the value of absorption by capillary rise should be similar to that of the reconstruction solution [11].

Porosity is a parameter mentioned only in literature analyzing the compatibility of the solution used with stone material. Its value for repair material and stone material should also be similar [20].

The thermal conductivity coefficient is a property mentioned only in the German standard DIN 18946:2018-12 [15] and Lehmbau Regeln [14]. According to this standard, for earth-based mortar, it can be declared using the dry bulk density rounded up to a complete 100 kg/m^3 . In the case of the discussed reconstruction material, there is no specified limit value for the thermal conductivity coefficient.

Vapor permeability. Information about the diffusion resistance coefficient is important for the compatibility of masonry material and mortar [20]. The water vapor diffusion resistance coefficient for earth-based masonry mortars can be determined and declared, similarly to thermal conductivity, based on classification in accordance with Lehmbau Regeln [14].

Young's modulus. According to conservation guidelines [10 and 11], mortar should be used that is no stronger than necessary. It is best if the Young's modulus of the mortar is similar to that of the masonry material (dimensional compatibility) [11].

Thermal expansion is also a parameter determining the compatibility of a given repair solution. In this case, the best value for this property is one that is not significantly different from the thermal expansion coefficient of the masonry material [11].

Aesthetic aspects. In the case of reconstruction mortars that will be exposed after reconstruction, aesthetic aspects are extremely important. According to guidelines [10, 11], the color and texture of the new mortar should be assessed. In addition, the appearance should be durable and stable in various environmental conditions (aging and weathering). The risk of efflorescence and stains resulting from the leaching of substances such as lime should be minimized.

Conclusions

In Poland and worldwide, there is a lack of uniform standards for the design of earth-based mortars. The guidelines in international documents differ in terms of mortar properties, methods of their determination, and final acceptable values. There is also no reference to reconstruction aspects. The

Nasiąkliwość. Zgodnie z polską normą PN-B-14501:1965 [12], nasiąkliwość zapraw cementowo-glinianych powinna wynosić najwyżej 20% w przypadku zapraw marek M2, M4 i M8 oraz najwyżej 15% w przypadku zapraw marek M15, M30 i M50. Nasiąkliwość zaprawy i materiału murowego powinna mieć zbliżone wartości (kompatybilność wilgotnościowa) [11].

Podciąganie kapilarne. Absorpcja wody przez podciąganie kapilarne jest parametrem pojawiającym się w literaturze w aspekcie kompatybilności zastosowanego rozwiązania [20, 22]. Podobnie jak nasiąkliwość, wartość absorpcji przez podciąganie kapilarne powinna być zbliżona do rozwiązania rekonstrukcyjnego [11].

Porowatość jest parametrem wspomnianym jedynie w literaturze analizującej kompatybilność zastosowanego rozwiązania z materiałem kamiennym. Jej wartość w przypadku materiału naprawczego i kamiennego powinna być zbliżona [20].

Współczynnik przewodzenia ciepła jest właściwością wspomnianą tylko w normie niemieckiej DIN 18946:2018-12 [15] i Lehmbau Regeln [14]. Zgodnie z nią, w przypadku zaprawy murarskiej z gliny można go zadeklarować, stosując gęstość nasypową w stanie suchym zaokrągloną do pełnych 100 kg/m^3 . W przypadku omawianego materiału rekonstrukcyjnego nie ma sprecyzowanej granicznej wartości współczynnika przewodzenia ciepła.

Paroprzepuszczalność. Znajomość współczynnika oporu dyfuzyjnego jest istotna z uwagi na kompatybilność materiału murowego i zaprawy [20]. Współczynnik oporu dyfuzyjnego pary wodnej w przypadku glinianych zapraw murarskich można określić i zadeklarować, podobnie jak przewodność cieplną, na podstawie klasyfikacji zgodnie z Lehmbau Regeln [14].

Moduł Younga. Zgodnie z wytycznymi konserwatorskimi [10 i 11] należy stosować zaprawę nie mocniejszą niż to konieczne. Najlepiej, żeby moduł Younga zaprawy był zbliżony do modułu charakteryzującego materiał murowy (kompatybilność wymiarowa) [11].

Rozszerzalność cieplna jest także parametrem warunkującym kompatybilność danego rozwiązania naprawczego. W tym przypadku najlepsza wartość tej właściwości to taka, która jest zbliżona do wartości materiału murowego [11].

Aspekty estetyczne. W przypadku zapraw rekonstrukcyjnych, które po rekonstrukcji będą wyeksponowane, niezwykle istotne są aspekty estetyczne. Zgodnie z wytycznymi [10, 11] należy dokonać oceny koloru i tekstury nowej zaprawy. Ponadto wygląd powinien być trwały i stabilny w różnych warunkach środowiskowych (starzenie i wietrzenie). Ryzyko powstania wykwitów i plam, na skutek wypłukiwania substancji, tj. np. wapno, powinno być ograniczone do minimum.

Wnioski

W Polsce i na świecie brakuje jednolitych standardów dotyczących projektowania zapraw glinianych. Wytyczne, jakie można znaleźć w międzynarodowych dokumentach, różnią się w przypadku właściwości zapraw, metod ich określania, jak również końcowych dopuszczalnych wartości. Brakuje w nich również odniesienia do aspektów rekonstrukcyjnych. Przed-

analysis presented may be an important source of information when designing earth-based mortars, both for use in newly constructed buildings and in historic ones.

The publication was financed by a subsidy from the dean of the Faculty of Civil Engineering of the Warsaw University of Technology.

Received: 28.07.2025

Revised: 02.09.2025

Published: 23.12.2025

stawiona analiza może stanowić istotne źródło informacji przy projektowaniu zapraw glinianych, zarówno do zastosowania w obiektach nowo wznoszonych, jak i zabytkowych.

Publikacja została sfinansowana z subwencji dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej.

Artykuł wpłynął do redakcji: 28.07.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 02.09.2025 r.

Opublikowano: 23.12.2025 r.

Literature

- [1] Lekshmi MS, Subha V, Deepa N. Experimental Study on the Physical Properties of Mud Mortar in Comparison with the Conventional Mortars. *Civ. Eng. Urban Plan. An Int. J.* 2016. DOI: 10.5121/civej. 2016.3211.
- [2] Gomes M, Faria P. Repair mortars for rammed earth constructions. *Proc. XII DBMC – 12th Int. Conf. Durab. Build. Mater. Components*, Vol. 2, Porto, FEUP, March 2011 2011, 1–8.
- [3] Sobczyńska E, Terlikowski W, Garbacz A. Evaluation of Durability of Earth-Based Mortars on the Example of Ancient Stone Structures in the Black Sea Basin. *Int. J. Archit. Herit.* 2025. DOI: 10.1080/15583058.2025.2534872.
- [4] Minke G. Building with Earth. *Build. with Earth.* 2006. DOI: 10.3362/9781780443959.
- [5] Medvey B, Dobszay G. Durability of Stabilized Earthen Constructions: A Review. *Geotech. Geol. Eng.* 2020. DOI: 10.1007/s10706-020-01208-6.
- [6] Arenas NF, Shafique M. Reducing embodied carbon emissions of buildings – a key consideration to meet the net zero target. *Sustain. Futur.* 2024. DOI: 10.1016/j. sft. 2024.100166.
- [7] Sobczyńska E, Terlikowski W, Gregoriou-Szczepaniak M. Stability of treatment from earth-based mortar in conservation of stone structures in Tana-is, Russia. *Sustain.* 2021. DOI: 10.3390/su13042220.
- [8] Terlikowski W, Gregoriou-Szczepaniak M, Sobczyńska E, Wasilewski K. Structural assesment of Mosque Building in Old Dongola. In *Proceedings of the Joffroy Thierry, Crosby Anthony, Gandreau David, Hubert Alix, Marchi Séverine, et al.. Nile's Earth 2023 International Conference: study and conservation of earthen archaeological sites in ancient Egypt and Sudan*, 4-5-6 July 2023. *Proceedings. Nile's Ear*; 2024.
- [9] MRH, Rick L, Krayenhoff M. Modern earth buildings. *Materials, engineering, construction and applications*; 2012.
- [10] ASTM C1713-17 Standard Specification for Mortars for the Repair of Historic Masonry.
- [11] RILEM TC 203-RHM Repair mortars for historic masonry. 2012; Vol. 45; ISBN 9782351581636.
- [12] PN-B-14501:1965 Zaprawy budowlane cementowo-gliniane [Cement-clay construction mortars]; 1965.
- [13] PN-B-14501: 1955 Zaprawy cementowo-gliniane [Cement-clay mortars].
- [14] *Lehmbau Regeln: Begriffe – Baustoffe – Bauteile*; E. V., D. L., Ed.; Vieweg+Teubner Verlag, 2008.
- [15] DIN 18946: 2024-03 Earth masonry mortar – Requirements, test and labelling; 2024.
- [16] ASTM E2392/E239 M (2010) Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems.
- [17] 14.7.4 NMAC (2009) New Mexico Earthen Building Materials Code.
- [18] NZS 4298:1998 Materials and Workmanship for Earth Buildings, Standards New Zealand, Wellington, New Zealand.; 1998.
- [19] Apostolopoulou M, Aggelakopoulou E, Bakolas A, Moropoulou A. Compatible mortars for the sustainable conservation of stone in masonries. *Adv. Mater. Conserv. Stone.* DOI: 10.1007/978-3-319-72260-3_5.
- [20] Rodrigues JD, Grossi A. Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions. *J. Cult. Herit.* 2007. DOI: 10.1016/j. culher. 2006.04.007.
- [21] PN-B-04500:1985 Zaprawy budowlane – Badanie cech fizycznych i wytrzymałościowych [Construction mortars – Testing for physical properties and strength]; 1985.
- [22] Pavia S, Treacy E. A comparative study of the durability and behaviour of fat lime and feebly-hydraulic lime mortars. *Mater. Struct. Constr.* 2006. DOI: 10.1617/s11527-005-9033-4.