

Danuta Barnat-Hunek*, Piotr Smarzewski** Małgorzata Szafraniec*

Ocena stanu technicznego komina murowanego i badania eksperymentalne cegły

Evaluation of the technical condition of the brick masonry chimney and experimental studies of brick

Słowa kluczowe: komin murowany z cegły, hydrofobizacja, nasiąkliwość, paroprzepuszczalność, mrozoodporność, mikrostruktura materiału

Key words: masonry brick chimney, hydrophobization, absorbability, vapor permeability, frost resistance, microstructure of material

WSTĘP

Większość murowanych z cegły kominów w Polsce, w wyniku braku odpowiednich izolacji przeciwwodnych oraz zabezpieczeń przeciwwilgociowych i antykorozyjnych, wykazuje objawy nadmiernego skorodowania. Nadrzędnym celem jest utrzymanie budowli w odpowiednim stanie technicznym, a w przypadku obiektów mocno zniszczonych ich remont i modernizacja przystosowująca je do współczesnych wymagań.

Kominy żelbetowe i ceglane są niejednokrotnie przedmiotem prac remontowych [1, 2, 3, 4]. Efektywność tych prac czasami jest niezadowalająca, a wprowadzanie nowoczesnej chemii budowlanej, zwłaszcza na obiektach zabytkowych, nie zawsze skutkuje utrzymaniem budowli w odpowiednim stanie technicznym [5]. Nieprawidłowo zastosowane materiały budowlane (tynki cementowe, farby o niskiej paroprzepuszczalności), brak obróbek blacharskich, niestosowanie kompleksowych systemów naprawczych czy też przeprowadzanie remontu bez wykonania właściwej izolacji przeciwwilgociowej to przyczyny złego stanu technicznego obiektów ceglanych.

Zbyt duże zawilgocenie i korozja chemiczna powodują obniżenie wytrzymałości na ściskanie zarówno cegły, jak i zaprawy oraz wpływa na pogorszenie warunków

INTRODUCTION

Most of masonry brick chimneys in Poland as a result of lack of adequate waterproofing, damp proofing and anticorrosion protection show signs of excessive corrosion. The ultimate goal is to keep the building in good technical condition and in the case of ravaged objects, their renovation and modernization adapts them to modern requirements.

Reinforced concrete and brick chimneys are often subjects of repair works [1, 2, 3, 4]. The effectiveness of these works sometimes is unsatisfactory and using modern construction chemicals, especially in historic buildings, does not always result in the maintenance of the building in good condition [5]. There are few reasons of a bad technical condition of brick buildings, for example: building materials are not used properly (cement plasters, paints with low vapor permeability), flashings are lacking, complex repair systems are not used or renovation is carried out without proper damp-proofing.

Excessive moisture and chemical corrosion cause a decrease in compressive strength of both brick and mortar and have bad influence on chimney operating conditions [6, 7]. Water accumulated inside brick and mortar contributes to the gradual destruction of the chimney jacket, potential plasters and painting coatings detachment.

* Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Budownictwa Ogólnego, e-mail: d.barnat-hunek@pollub.pl, malgosiaszafraniec@gmail.com
** Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Konstrukcji Budowlanych, e-mail: p.smarzewski@pollub.pl

* Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Department of Construction, e-mail: d.barnat-hunek@pollub.pl, malgosiaszafraniec@gmail.com
** Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Department of Structural Engineering, e-mail: p.smarzewski@pollub.pl

Cytowanie / Citation: Barnat-Hunek D., Smarzewski P., Szafraniec M. Evaluation of the technical condition of the brick masonry chimney and experimental studies of brick. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2015;41:7-19

Otrzymano / Received: 2014-06-25 • **Zaakceptowano / Accepted:** 2014-09-05

eksploatacyjnych komina [6, 7]. Woda zgromadzona w cegle i zaprawie przyczynia się do stopniowej destrukcji płaszczu komina, odspajania ewentualnych tynków i powłok malarskich.

Na terenach uprzemysłowionych w powietrzu atmosferycznym i parze wodnej występuje duże stężenie szkodliwych gazów i soli, które gromadząc się na powierzchni kominów ceglanych powodują zwiększenie zdolności higroskopijnego wchłaniania wilgoci. W przypadku mocno zasolonych obiektów zawilgocenie materiału wskutek sorpcji wilgoci z powietrza może być porównywalne z zawilgoceniem wywołanym podciąganiem kapilarnym wody z gruntu. Spaliny kominowe charakteryzują się wysoką temperaturą, zapyleniem, zawartością pary wodnej oraz zawartością pewnej ilości kwasu siarkowego i trójtlenku siarki. Skropliny mają odczyn kwaśny, a w zależności od stężenia H_2SO_4 lub SO_3 temperatura kondensacji zmienia się w przedziale $120 \div 150^\circ C$ [8].

Szkodliwe oddziaływanie soli objawia się wykwitami, przebarwieniami oraz ich krystalizacją na powierzchni muru [9]. W materiale powstają naprężenia rozciągające, powodując destrukcję wskutek ciśnienia krystalizacji, ciśnienia hydratacji oraz ciśnienia osmotycznego [10]. Podobne zniszczenia, a nawet większe niż związane ze zjawiskiem zamarzania-odmarzania, powodują procesy krystalizacji i rozpuszczania soli [11, 12]. Czynnikiem destrukcyjnym i mało estetycznym jest korozja biologiczna, a zwłaszcza drobnoustroje autotroficzne i heterotroficzne. Glony, porosty, rośliny przyczyniają się do powstawania kwasów organicznych rozpuszczających składniki mineralne, co w konsekwencji skutkuje obniżeniem mrozoodporności.

Problematyka zniszczeń spowodowanych przez wahania temperatury, naprężenia termiczne, wielokrotne cykle zamarzania i odmarzania jest szczególnie istotna w przypadku kominów murowanych na nieodpowiednio dobranej zaprawie o słabej wytrzymałości. Zaprawy wapienne lub cementowo-wapienne mają niższą wytrzymałość mechaniczną, odporność na działanie wody i soli w niej zawartych oraz czynników atmosferycznych niż cegła klinkierowa lub szamotowa, z której najczęściej zbudowane są kominy murowane. W związku z tym spoiny ulegają stosunkowo łatwo i szybko niszczeniu [13]. Po latach eksploatacji komina można zauważyć brak zespolenia zaprawy z cegłą, liczne ubytki zaprawy i cegieł oraz charakterystyczne szare nawarstwienia i patynę [14].

Nadrzędnym celem działań remontowych i konserwatorskich powinna być likwidacja i ograniczenie skutków i źródeł zawilgocenia oraz zasolenia. Jednym z elementów prawidłowej ochrony powierzchni obiektów ceglanych przed wodą opadową, a także mrozem, wietrzeniem i zabrudzeniami może być hydrofobizacja [5, 15, 16].

W artykule przedstawiono ocenę stanu technicznego komina murowanego z cegły oraz zaproponowano zakres prac remontowych. Dokonano również obiektywnej oceny preparatów, które mogą być wykorzystane do hydrofobizacji powierzchni komina. Materiał badawczy stanowiła cegła pobrana z płaszczu przemysłowego komina murowanego.

In the atmospheric air and water vapour of the industrialized areas there occurs a high concentration of harmful gases and salts which are accumulating on the surface of the brick chimneys and increase the capacity of hygroscopic moisture absorption. In the case of strongly salted objects moisture resistance of the material as a result of the moisture sorption from the air can be comparable to moisture resistance inducted by capillary transport of the water from the ground. Chimney exhaust fumes gases are characterized by high temperature, pollution, water vapour content and content of some amount of the sulphuric acid and content of sulphur trioxide. The condensation has an acidic reaction, and depending on H_2SO_4 or SO_3 concentration, the temperature of the condensation varies between $120 \div 150^\circ C$ [8].

Harmful influence of the salt appears as a salt efflorescence, discolouration and their crystallization on the surface of the wall [9]. In the material arise stretching stresses, causing disruption as a result of crystallization pressure, hydration pressure and osmotic pressure [10]. Similar damage, and even bigger than that connected with frost-defrost occurrence cause crystallization and salt dissolving processes [11, 12]. Destructive and not very esthetic factor is biological corrosion, in particular autotrophic and heterotrophic microorganisms. Algae, lichen, plants contribute to arising organic acids dissolving natural substances, what consequently causes lowering of frost resistance.

Pollution caused by temperature fluctuations, thermal stresses, multiple frosting and defrosting cycles issue is especially essential in case of masonry chimneys where inappropriately low strength mortar was used. Lime or cement – lime mortars have lower mechanical strength, resistance to the influence of water, salts included in them and atmospheric factors than clinker or chamotte brick, from which masonry chimneys are built. In connection with this, joints are destroyed relatively easily and fast [13]. After years of chimney usage there can be seen: lack of joining of mortar with brick, numerous losses in mortar and bricks, as well as characteristic grey build-ups and patina [14].

Superior aim of renovation and conservation activities should be elimination and limitation of the effects and sources of moisture resistance and salinity. One of the elements of proper surface of the brick objects protection against rain water, frost, ventilation and dirt can be hydrophobization [5, 15, 16].

The aim of the research presented in the paper was to evaluate the technical condition of the masonry chimney and to propose scope of modernization process. The paper also contains an objective evaluation of preparations which can be used for the chimney surface hydrophobization. Tested material was taken from brick masonry industrial chimney jacket.

GENERAL CHARACTERISTICS OF THE BUILDING

The article is devoted to masonry ceramic brick chimney located on the site of the former sugar fac-

CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA OBIEKTU

Przedmiotem artykułu jest komin murowany z cegły ceramicznej zlokalizowany na terenie byłej cukrowni Klemensów w Szczecbrzeszynie. Komin fabryczny ceramiczny wykonany z cegły klinkierowej w 1945 roku, służył do odprowadzania spalin z kotłowni zakładowej opalanej węglem kamiennym. Komin składa się z cokołu, trzonu i głowicy (ryc. 1). Cokół komina wykonany z cegły klinkierowej, o przekroju kwadratowym o wymiarach $5,48 \times 5,48$ m i wysokości 9,70 m, jest wzmocniony na zewnątrz ramami z prętów stalowych. Trzon komina wzmocniono dwudzielnymi obręczami stalowymi z płaskownika 110×10 mm w rozstawie około 2–2,2 m z zamkami śrubowymi 2M24. Komin wyposażony jest na całej wysokości w stalowe kłamy wjazdowe. W partii szczytowej na wysokości około +60 m znajduje się galeria stalowa oraz urządzenia operatorów telefonii komórkowej. Komin wyposażony jest w instalację odgromową.

Pozostałe dane techniczne: wysokość całkowita komina: 64,2 m, grubość ścianki przy wylocie: 0,25 m, średnica wewnętrzna na górze komina: 1,90 m, grubość ścianki na poziomie +9,70 m: 1,00 m, średnica wewnętrzna na poziomie +9,70 m: 2,10 m.

OCENA STANU TECHNICZNEGO

Stan techniczny komina określono na podstawie obserwacji zewnętrznych i szczegółowych badań makroskopowych budzących zastrzeżenia elementów konstrukcyjnych i budowlanych obiektu. Badania przeprowadzono w styczniu 2012 roku i obejmowały one wykonanie m.in. inwentaryzacji geodezyjnej, pomiarów oporności instalacji odgromowej, dokumentacji zdjęciowej występujących uszkodzeń, badań stopnia zasolenia skorodowanych części komina. Fotografie zamieszczone w artykule ukazują charakterystyczne przykłady uszkodzeń i usterek wykonawczych ceglano-płaszczki komina.

Na podstawie wizji lokalnej oraz pomiarów można stwierdzić, że:

- Betonowa czapa i wierzchnie warstwy cegieł cokołu na wysokości +9,7 m wykazują liczne spękania, odspojenia, ubytki i korozję biologiczną (ryc. 2).
- W wyniku długotrwałego okresu eksploatacji komin uległ odkształceniom, czego efektem jest pęknięcie pionowe (ryc. 3–4) wywołane naprężeniami termicznymi. Również liczne drobne pęknięcia pionowe przyczyniają się do zmniejszenia nośności komina.

W celu określenia rodzaju i stężenia soli wierzchniej warstwy komina pobrano próbki cegieł i skorodowanej zaprawy, a następnie wykonano badania chemiczne. Analiza jakościowa pozwoliła na wykrycie obecności siarczanów, azotanów i w niewielkich ilościach chlorków. Analizę półilościową wykonano za pomocą zestawu do badania soli firmy Merck.

Użyta zaprawa wapienno-cementowa uległa korozji siarczanowej, o czym świadczą wyniki badań stopnia

tory Klemensów in Szczecbrzeszyn. Ceramic industrial chimney was made of clinker brick in 1945. The main task of chimney was to discharge flue gas from coal-fired factory boiler. Chimney consists of a socle, shaft and head (fig. 1). Chimney socle is made of clinker brick, has a square base with sides of length 5.48 m and 9.70 m height. From the outside it is strengthened with steel bar frames. Chimney shaft has also strengthening – double steel rims made from flat bar 110×10 mm in spacing of about 2–2.2 m with screw locks 2M24. On the upper part of the chimney, +60 m approximately, there is steel gallery and mobile phone operators devices. The chimney is equipped with step irons on the entire height of the building and a lightning protection system.

Other technical data: total height of the chimney: 64.2 m, the thickness of the wall at the exit: 0.25 m, inner diameter at the top of the chimney: 1.90 m, the thickness of the wall at the level of 9.70 m: 1.00 m, internal diameter at the level of 9.70 m: 2.10 m.

EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION

The technical condition of the chimney was determined on the basis of external observations and detailed macroscopic researches arousing reservations components and building object. Studies were conducted in January 2012 and included among others geodetic stocktaking, resistance measurements of lightning protection system, photographic documentation of occurring damage, researches of salinity degree of corroded elements of chimney. Photographs featured in the article reveal characteristic examples of occurring damage and defects of brick chimney jacket (fig. 2).

On the basis of the site visit and the measurements it can be concluded that:

- Concrete cap and outer brick layers of the socle at the height of +9.7 m show numerous cracks, detachments, lacks and biological corrosion (fig. 2).
- Deformation of the chimney was the result of long-term operation life. Due to thermal stress vertical cracks appeared on the chimney (fig. 3–4). Also numerous small vertical cracks decrease bearing capacity of the chimney.

In order to determine the type and concentration of salt on top layer of chimney samples of bricks and corroded mortar were taken and chemical tests were performed. Qualitative analysis enabled to detect the presence of sulfates, nitrates and small quantities of chloride. Semi-quantitative analysis was performed using a Merck test kit.

Sulfate corrosion of cement-lime mortar used to make joints was noticed. Salinity test confirmed that. Level of sulphates salinity according to the WTA [17] requirements was high – more than 2%, while nitrate salinity was 0.2%, which corresponds to the average degree of salinity. Chloride content did not exceed 0.2%, which indicates a low salinity. The high content of sulfates in the atmospheric air of the industrialized areas causes reaction with mortar and creation the calcium sulfate (gypsum), which leads to an increase of the

zasolenia. Stopień zasolenia siarczanami wg wytycznych WTA [17] był wysoki i wynosił ponad 2%, natomiast stopień zasolenia azotanami wynosił 0,2%, co odpowiada średniemu stopniowi zasolenia. Zawartość chlorków nie przekraczała 0,2%, co oznacza niski stopień zasolenia. Duża zawartość siarczanów w powietrzu atmosferycznym na terenach uprzemysłowionych powoduje reakcję z zaprawą i utworzenie siarczanu wapniowego (gipsu), co prowadzi do wzrostu objętości zaprawy (ryc. 3, 7, 9). Wilgoć oraz sole rozpuszczalne w wodzie stanowią zagrożenie dla trwałości obiektu i powodują silnie postępującą korozję [4].



Ryc. 1. Komin – widok ogólny od zachodu
Fig. 1. Chimney – general view from the west



Ryc. 2. Zniszczenia cokołu – ubytki cegieł i spoiny, nawarstwienia, korozja biologiczna
Fig. 2. The destruction of the chimney socle – bricks and joints defects, build-ups, biological corrosion

mortar volume (fig. 3, 7, 9). Moisture and water-soluble salts are threat to the stability of the object and produce a highly progressive corrosion [4].

Bricks inside the chimney are in satisfactory condition but minor damages, lacks of bricks and joints at the outlet of the chimney (fig. 9–10) were noticed. The entire inner surface of the chimney is covered with



Ryc. 3. Korozja siarczanowa i mrozowa tynku oraz cegieł kominia
Fig. 3. Sulfate and frost corrosion of the plaster and chimney bricks



Ryc. 4. Uszkodzenia cegieł i pęknięcia płaszczka
Fig. 4. Damage to the bricks and cracks of the chimney jacket



Ryc. 5. Pęknięcie pionowe kominia
Fig. 5. Vertical chimney crack



Ryc. 6. Stan powierzchni płaszczu w górnej partii komina
 Fig. 6. The jacket surface condition in the upper part of the chimney



Ryc. 9, 10. Korozja płaszczu przy wylocie komina, odspojenia płytek klinkierowych
 Fig. 9, 10. Corrosion of chimney jacket at the chimney outlet, detachments of clinker tiles



Ryc. 7, 8. Korozja klamer wyłazowych i płaszczu komina
 Fig. 7, 8. Corrosion of step irons and chimney jacket



Ryc. 11. Widok ogólny galerii stalowej
 Fig. 11. General view of the steel gallery

Cegły wewnątrz komina znajdują się w dostatecznym stanie technicznym. Zaobserwowano natomiast drobne uszkodzenia, ubytki cegieł i spoin przy wylocie komina (ryc. 9–10). Cała powierzchnia wewnętrzna komina pokryta jest warstwą pyłu o grubości ok. 2–3 cm. Zaobserwowano brak wiązania oraz liczne odspojenia cegieł na zewnętrznej powierzchni komina (ryc. 7–8). Z uwagi na nadmierną nasiąkliwość skorodowanej cegły część uszkodzeń powierzchniowych płaszcza ma charakter mrozowy (ryc. 2–3).

Istniejące obręcze stalowe, szczeble wyłazowe oraz galeria stalowa na wysokości około +60 m są skorodowane (ryc. 6, 11–12). Również otok piorunochronowy na kominie wykazuje oznaki znacznego skorodowania (ryc. 13–14).

Analiza wyników pomiarów geodezyjnych pionowości wskazuje deformację osi komina w jego części środkowej (na wysokości około 40 m).

Uszkodzenia wskazanych elementów komina wymagają działań naprawczych, zmierzających do usunięcia zarówno objawów, jak i wskazanych, możliwych przyczyn występowania uszkodzeń.

PROPONOWANY ZAKRES PRAC MODERNIZACYJNYCH

Aktualny stan i stopień zużycia technicznego komina kwalifikuje go do przeprowadzenia następujących prac:

- Cegły uszkodzone należy rozebrać, ubytki oczyścić sprężonym powietrzem metodą strumieniowo-cierną poprzez piaskowanie. Warstwy cegły należy przemurować stosując odpowiednie wiązanie. Zniszczone spoiny należy skuć na głębokość 2 cm i uzupełnić zaprawą. Ze względu na korozję siarczanową do przemurowań zaleca się stosowanie zaprawy cementowej, szamotowej lub z dodatkiem trasy. Rozbiórka i uzupełnianie muru powinny odbywać się warstwami w kierunku od dołu do góry komina. Należy zastosować cegłę szamotową lub klinkierową. Nie wolno stosować zamiennie zwykłej cegły ceramicznej, gdyż charakteryzuje ją mniejsza odporność na działanie czynników chemicznych i fizycznych oraz działanie kondensatu spalin.
- Wewnątrz komina należy oczyścić całą łuszczącą się powierzchnię. Zaleca się usunięcie pozostałości i ewentualnego popiołu z czopucha.
- Pęknięcia o szerokości do 30 mm wypełnić odpowiednią zaprawą po wcześniejszym wyczyszczeniu powierzchni rys i pęknięć z sadzy i popiołu. Dodatkowo pęknięcia zszyć klamrami stalowymi, np. Helfix, o średnicy 8 mm. Pęknięcia szersze niż 30 mm należy wypełnić ceglami na zaprawie cementowej.
- Po naprawie pęknięć należy założyć stalowe obręcze zabezpieczające przed dalszym rozwarstwianiem się pęknięć. Obręcze należy zastosować na całej długości głównej rury (ryc. 5–6) w rozstawie ok. 70 cm.



Ryc. 12. Korozja stalowej galerii

Fig. 12. Corrosion of steel gallery

a layer of dust approximately 2–3 cm. Lack of banding and plurality of detachments of bricks on the outer surface of the chimney (fig. 7–8) were observed. Due to the excessive absorption of the corroded brick, some chimney jacket damages are caused by frost (fig. 2–3).

Existing steel bands, step irons and steel gallery on the height of approximately +60 m are corroded (fig. 6, 11–12). Also lightning protection rim shows significant signs of corrosion (fig. 13–14).

Analysis of the results of geodetic measurements of verticality shows the deformation of the axis in the central part of the chimney (at a height of about 40 m).

Damage to the elements of the chimney, mentioned above, require repair works in order to remove symptoms and indicated possible causes of damage.

PROPOSED SCOPE OF MODERNIZATION PROCESS

The following work should be carried out because of current investigation results and structural wear-and-tear of chimney:

- Damaged bricks should be demolished, lacks have to be cleaned with compressed air by sandblasting. The use of appropriate bond is recommended to rebuild brick layers. Damaged joints must be cut to a depth of 2 cm and filled with new mortar. Cement mortar, chamotte mortar or mortar with trass should be used because of sulfate corrosion. Demolition and replenishment of the wall have to be done in layers in the direction from the bottom to the top of the chimney using chamotte brick or clinker brick. Commonly used ceramic brick cannot be used because it has less resistance to chemical and physical factors and exhaust fumes condensate.
- All peeling surface has to be removed from the interior of the chimney. It is recommended to remove any residue and ash from the horizontal flue.
- Cracks with a width of 30 mm should be cleaned of soot and ash and completed with appropriate mortar. Additionally cracks should be stapled with steel cramp for example Helfix 8 mm diameter. Cracks

- Należy wykonać rozbiórkę zniszczonej czapy betonowej cokołu i po naprawie cegieł wykonać obróbkę blacharską i przekrycie z blachy ocynkowanej płaskiej z odpowiednimi spadkami w celu odprowadzenia wody z powierzchni poziomych cokołu.
- Kolejnym etapem prac remontowych jest przeprowadzenie neutralizacji soli produktem fluatyzacyjnym. Spowoduje on przekształcenie szkodliwych soli budowlanych rozpuszczalnych w wodzie (chlorki, siarczany, azotany) w sole nierozpuszczalne lub trudnorozpuszczalne.
- Ze względu na obecność soli rozpuszczalnych w płaszczu komina istotną rolę ochronną spełnią prawidłowo dobrane materiały powłokowe od zewnętrznej strony komina. Zewnętrzną powierzchnię płaszczu komina należy zabezpieczyć przeciwwilgo-



Ryc. 13, 14. Korozja bednarek oraz cegieł i zaprawy komina
Fig. 13, 14. Corrosion of chimney band-irons, bricks and mortar

wider than 30 mm should be filled with bricks and cement mortar.

- After cracks reparation steel bands must be installed to prevent further delamination of the cracks. Bands should be placed along the main crack (fig. 5-6) in equal spacing of approximately 70 cm.
 - The destroyed concrete socle cap should be demolished and after bricks reparation the flashing and galvanised steel cladding should be done. Cladding has to have a proper slope, in order to drain water from the horizontal surfaces of the socle.
 - The next step of repair works is to neutralize the salt by suitable preparations. This will cause the conversion of harmful water-soluble building salts (chlorides, sulfates, nitrates) in the insoluble or sparingly soluble salts.
 - Due to the presence of water-soluble salts in the chimney jacket, important protective role fulfil properly selected coating material from the outside of the chimney. The outer surface of the chimney jacket should be protected against water by hydrophobizing colourless preparation based on oligomeric siloxanes.
 - Existing steel bands and step irons should be cleaned, protected against corrosion and painted with chemically resistant paint. Bands with a high degree of corrosion must be replaced with new ones.
 - There should be periodic geodetic measurements of flue in the spring and autumn, in order to evaluate the deformation of the chimney axis, and whether it has a stable character, both as to the direction and value, taking into account the deflection of the vertical axis of the chimney.
 - Lightning protection system requires repair and maintenance, lightning protection rim needs to be replaced
 - It is recommended to perform night marking of chimney in accordance with the requirements of the Regulation of the Minister of Infrastructure of 25 June 2003 (Journal of Laws No. 130, item. 1193).
- According to the Regulation of the Minister of Infrastructure of 25 June 2003 (Journal of Laws No. 130, item. 1193) chimney and its equipment shall be subject to renovation, due to existing corrosion risks and the need for daily labelling. Thanks to that chimney can be failure-free operated and reliably used.

RESEARCHES ON HYDROPHOBIZED CORRODED CHIMNEY BRICK

The paper analyzes the effectiveness of hydrophobic preparations based on organosilicon compounds with high VOC content because of their superior efficacy compared to preparations based on water solvent. The effectiveness of three hydrophobic preparations was evaluated; they were used for impregnation of ceramic brick which was taken from chimney socle. The preparations were chosen to differ in terms of hydrolytic polycondensation degree, viscosity and concentration, as these are the factors that are decisive as far as the end result of hydrophobization is concerned.

ciowo poprzez hydrofobizację paroprzepuszczalnym bezbarwnym preparatem na bazie siloksanów oligomerycznych.

- Istniejące obręcze stalowe oraz szczeble wylazowe należy oczyścić, wykonać zabezpieczenie antykorozyjne i przemaalować farbami chemoodpornymi. Obręcze o dużym stopniu skorodowania należy wymienić na nowe.
- Należy przeprowadzać okresowe pomiary geodezyjne przewodu kominowego w okresie wiosennym i jesiennym w celu oceny deformacji osi komina oraz tego, czy ma ona charakter ustabilizowany, zarówno co do kierunku, jak i wartości, uwzględniając wychylenie osi komina z pionu.
- Należy wykonać naprawę i konserwację instalacji odgromowej oraz wymienić otok piorunochronny.
- Zaleca się wykonanie nocnego oznakowania komina zgodnie z wymaganiami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2003 r. (Dziennik Ustaw Nr 130, poz. 1193).

Z uwagi na istniejące zagrożenie korozyjne i potrzebę wykonania oznakowania dziennego zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2003 r. (Dziennik Ustaw Nr 130, poz. 1193), komin wraz z jego wyposażeniem powinien być poddany remontowi. Pozwoli to na dalszą jego bezawaryjną eksploatację i umożliwi niezawodne użytkowanie.

BADANIA HYDROFOBIZACJI SKORODOWANEJ CEGŁY KOMINA

W pracy wykonano analizę efektywności preparatów hydrofobowych opartych na związkach krzemooorganicznych o wysokiej zawartości VOC ze względu na ich wyższą skuteczność w porównaniu z preparatami o rozpuszczalniku wodnym. Ocenie skuteczności poddano 3 preparaty hydrofobowe, którymi zaimpregnowano cegłę ceramiczną pobraną z cokołu obiektu. Preparaty dobrano tak, żeby różniły się stopniem polikondensacji hydrolitycznej, lepkością i stężeniem, gdyż są to czynniki decydujące o efekcie końcowym hydrofobizacji.

Przed naniesieniem środka hydrofobizującego próbki do badań oczyszczono z pyłów i zanieczyszczeń. Cegła, na której zostały przeprowadzone badania, była niezasolona i posiadała dopuszczalną wilgotność około 1%. Materiał został pocięty na kostki sześciennie o wymiarach $4 \times 4 \times 4$ cm.

Do badań laboratoryjnych użyto następujących preparatów:

- (A) bezbarwny roztwór dyspersji silikonowej w rozpuszczalniku organicznym,
- (B) żywica metylosilikonowa o rozpuszczalniku organicznym,
- (C) alkiloalkoksylsiloksan.

Próbki poddano hydrofobizacji powierzchniowej. Zastosowano metodę „mokre na mokre” poprzez 3-krotne malowanie powierzchni za pomocą pędzla. Następnie wszystkie próbki poddano 7-dniowemu okresowi sezonowania w warunkach laboratoryjnych.

All samples, before being subjected to hydrophobization treatment, had been purified from dust and dirt. Tested brick was not containing salt and had acceptable moisture content of about 1%. The material was cut into cubes of each side 4 cm.

The following preparations have been selected to laboratory tests:

- (A) colourless solution of silicone dispersion in an organic solvent,
- (B) organic solvent based methylosilicone resin,
- (C) alkiloalkoksylsiloksan.

The samples were subjected to surface hydrophobization. The “wet on wet” method was used by 3 times painted by using a brush. All samples had undergone seasoning for 7 days in the laboratory.

The analysis of physical characteristic of brick such as total porosity, open porosity, density and bulk density was performed.

A direct water drop absorption test was carried out to check the effectiveness of impregnation. The basic laboratory test was the water absorbability test. Measurement of water absorbability of bricks by weight for periods: after: 0,5 h, 6 h, 24 h, 48 h, 7 days and 14 days. Water vapor diffusion outflow test was carried out in order to check whether hydrophobization does not cause sealing the pores of the materials tested and whether it does not interfere with the diffusion of gases and liquids. The same measurement periods were used, as in water absorbability test. The next carried out test was the frost resistance in order to check the effect of hydrophobization on the frost resistance of corroded chimney bricks. The analysis of the state of hydrophobic polysiloxane coating distribution in the microstructure of ceramic brick before and after the frost resistance test was also carried out.

Based on the results of the above mentioned tests, the analysis of effectiveness of hydrophobization of modernized chimney using hydrocarbon organosilicon compounds was made.

RESULTS AND DISCUSSION

Physical characteristics of brick

According to the PN-EN 1936:2010 determination of open and total porosity, density and bulk density were performed. The results were as follows: density $\rho_r = 2.61 \text{ g/cm}^3$, bulk density $\rho_b = 1.75 \text{ g/cm}^3$, total porosity $P = 27.37\%$, open porosity $P_o = 18.31\%$.

Water drop absorption ratio and imperviousness factor

Water absorption ratio is recommended as a laboratory test for impregnated or non-impregnated horizontal surface of the product. During the laboratory test the time required for complete absorption of a water drop on the impregnated surface t_x and on the reference sample surface t_n is measured.

Wykonano analizy cech fizycznych cegły, takich jak porowatość, objętość porów otwartych, gęstość oraz gęstość objętościowa.

Wykonano bezpośredni test absorpcji kropli wody sprawdzający skuteczność impregnacji. Podstawowym badaniem laboratoryjnym było badanie nasiąkliwości wodą. Pomiary prowadzono po 0,5 h, 6 h, 24 h, 48 h, 7 i 14 dniach. W celu sprawdzenia, czy hydrofobizacja nie powoduje uszczelnienia porów badanych materiałów oraz nie zakłóca dyfuzji cieczy i gazów, wykonano badania zdolności dyfuzyjnego odpływu pary wodnej (paroprzepuszczalność). Przyjęto okresy badawcze takie jak przy badaniu nasiąkliwości. W następnej kolejności przeprowadzono badania odporności na zamarzanie w celu sprawdzenia wpływu hydrofobizacji na mrozo-odporność skorodowanych cegieł komina. Przeprowadzono również analizę stanu powłok polisiloksanowych w mikrostrukturze cegły ceramicznej przed i po wykonaniu badania mrozoodporności.

Na podstawie uzyskanych wyników badań dokonano analizy skuteczności hydrofobizacji remontowanego komina przy użyciu węglowodorowych związków krzemooorganicznych.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Cechy fizyczne cegły

Wykonano badania porowatości, gęstości, gęstości objętościowej cegieł według PN EN 1936:2010 [18]. Uzyskano następujące wartości średnie: gęstość $\rho_r = 2,56 \text{ kg/m}^3$, gęstość objętościowa $\rho_b = 1,47 \text{ kg/m}^3$, porowatość całkowita $P = 30,1\%$, porowatość otwarta $P_o = 20,2\%$.

Wskaźnik absorpcji kropli wody i wskaźnik nieprzepuszczalności

Wskaźnik absorpcji wody zalecany jest jako test laboratoryjny dla zaimpregnowanej lub niezabezpieczonej poziomej powierzchni wyrobu. W czasie badania laboratoryjnego mierzy się czas potrzebny na całkowitą absorpcję kropli wody w powierzchnię zaimpregnowaną t_x oraz w powierzchnię t_n próbki wzorcowej.

Skrajny kąt zwilżania kropli wody na powierzchni ceglanych próbek zaimpregnowanych środkami o rozpuszczalnikach organicznych nie uległ znaczącej zmianie, aż do momentu wyparowania wody. Czas absorpcji kropli wody w niezaimpregnowaną cegłę ceramiczną wyniósł poniżej 1 minuty. Wymagania ZUAT [19] dotyczące wielkości WA i WR zostały spełnione przez badane preparaty na wszystkich ceglach biorących udział w badaniach ($WA \leq 5\%$, $WR \geq 95\%$).

Najniższy wskaźnik WA uzyskano przy hydrofobizacji drobnocząsteczkowym preparatem C (0,4%).

Na podstawie wstępnego testu absorpcji kropli można stwierdzić, że wszystkie próbki zostały skutecznie hydrofobizowane oraz spełniły wymagania zawarte w instrukcji ZUAT-15/VI.11-2/2001 [19] dotyczące wskaźników WA i WR.

Extreme angle of the water drop on the surface of the brick samples impregnated with the chemical agents based on organic solvents did not change significantly until the time when water has evaporated. The duration of water drop absorption in the non-hydrophobized brick was less than one minute. ZUAT [19] requirements regarding the value of WA and WR have been met by the tested preparations with respect to all the bricks involved in the tests ($WA \leq 5\%$, $WR \geq 95\%$).

The lowest WA ratio (0.4%) for the brick was obtained at the surface hydrophobization using the small molecule preparation C.

The preliminary water drop absorption test showed that all hydrophobized samples were fully water-resistant and they met the requirements regarding the value of WA and WR contained in ZUAT-15 / VI.11-2 / 2001 [19].

Absorbability and water absorption coefficient

Water absorption at atmospheric pressure test for wall bricks was carried out according to PN-EN 13755:2008 [20] for the five periods: after 0,5 h, 6 h, 24 h, 48 h and after 7 days [19]. Water absorption coefficient is calculated as the ratio of wettability of the hydrophobized sample by weight to wettability of the non-hydrophobized sample by weight. Based on this ratio the effectiveness of hydrophobising (H_{eff}) was determined (table 1). Test results are shown in fig. 15.

Table 1. Hydrophobization effectiveness (H_{eff}) for brick collected from the building, [%]

Measurement time	A	B	C
0,5 h	95,4	97,0	99,4
6 h	94,8	96,3	97,1
24 h	93,0	95,2	96,8
48 h	85,1	93,3	94,1
7 days	80,6	90,7	93,5

The effectiveness of hydrophobization after the period of 7 days ranges from 80.6% to 99.4%, depending on the impregnating agent used. The difference between reference sample and impregnated sample is clearly visible. Preparations based on organic solvents are found to be more effective. The longer the contact of the preparation with water, the weaker the effectiveness of impregnation becomes.

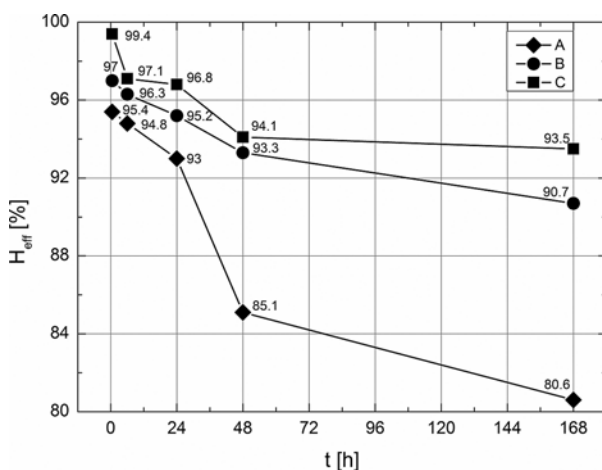
Analysis of water absorption of brick showed that the samples received the highest water-resistant when the small molecule alkyloalkoxysiloxane preparation C was used.

Capability to diffusion of water vapor of impregnated material

In order to verify whether hydrophobization does not disturb the diffusion of vapor and gas, vapor permeability tests of the brick were carried out.

Nasiąkliwość oraz wskaźnik nasiąkliwości wagowej

Test nasiąkliwości wagowej dla cegły z murów przeprowadzono wg PN-EN 13755:2008 [20] dla następujących okresów czasowych: po 30 min, 6 h, 24 h, 48 h i 7 dniach [19]. Wskaźnik nasiąkliwości obliczono jako stosunek nasiąkliwości wagowej cegły po hydrofobizacji, do jej nasiąkliwości wagowej przed hydrofobizacją. Na tej podstawie określono skuteczność hydrofobizacji (H_{eff}) (tab. 1). Uzyskane wyniki zilustrowano na ryc. 15.



Ryc. 15. Zależność skuteczności hydrofobizacji (H_{eff}) cegły w czasie (t)

Fig. 15. The relationship between hydrophobization effectiveness (H_{eff}) for brick and time (t)

Tabela 1. Skuteczność hydrofobizacji (H_{eff}) cegły pobranej z obiektu [%]

Czas pomiaru	A	B	C
30 min	95,4	97,0	99,4
6 h	94,8	96,3	97,1
24 h	93,0	95,2	96,8
48 h	85,1	93,3	94,1
7 dni	80,6	90,7	93,5

Skuteczność hydrofobizacji po upływie 7 dni waha się w granicach od 80,6% do 99,4% w zależności od zastosowanego środka impregnującego. Wykazano znaczące różnice pomiędzy próbką wzorcową a za-impregnowaną. Większą skutecznością odznaczają się preparaty z rozpuszczalnikami organicznymi. Im dłuższy kontakt preparatu z wodą, tym mniejsza jest efektywność impregnacji.

Analiza nasiąkliwości cegły wykazała, że próbki uzyskały największą odporność na działanie wody przy użyciu preparatu C z drobnocząsteczkowych alkiloalkoksylianów.

After having completed the wettability test, the samples were dried, and then left in laboratory conditions at $20 \pm 5^\circ\text{C}$ and relative humidity of $60 \pm 5\%$ to get dry. At this time, the rate of drying the samples was determined by measuring the weight loss of the samples, which indicated the amount of evaporated water.

Percent decrease in moisture content was determined as the humidity indicator of the brick prior to and after hydrophobization after the period of 7 days of drying the samples (table 2). The reference sample is indicated by the letter W.

Table 2. Percent decrease in moisture after 7 days of drying the samples, [%]

Material	W	A	B	C
Moisture decrease	87,3	60,4	63,4	52,5

Water has evaporated the fastest from the non-impregnated material. After 7 days of drying reference brick (W) achieved average humidity 87.3% lower than at the beginning of the test. The diffusion of vapor was the best in brick hydrophobized with organic solvent based methylsilicone resin (B), it achieved humidity decrease equal to 63.4%. Organic solvent based hydrophobizing preparations, especially preparations based on small molecule oligomers (C) cause the biggest sealing of the surface, which makes evaporation of moisture difficult. Evidence of this is a significant difference in the amount of vaporized moisture between reference and hydrophobized brick ($23.9 \div 34.8\%$).

Frost resistance by means of a direct method

Frost resistance of bricks was determined on the basis of the PN-EN 12012:2007 [21] and EN 13581:2004 [22]. Samples with the following dimensions: $40 \times 40 \times 40$ mm were prepared to determine frost resistance. The reference brick (W) and hydrophobized brick samples with preparations (A, B, C) were subjected to 50 cycles of freeze-thaw. After 50 cycles thereof, the samples were dried again until they have reached a constant weight and then the percentage weight loss of the sample was determined (table 3).

Table 3. Weight loss [%] after 50 cycles of freeze-thaw and dried to a constant weight

Material	W	A	B	C
Average weight loss after 50 cycles of freeze-thaw [%]	3,01	0,91	0,38	0,11

The smallest weight loss was observed for ceramic brick in the case of A preparation, while the preparations B and C had a considerable impact on the frost-resistant properties of the brick.

Zdolność dyfuzji pary wodnej zaimpregnowanego materiału

W celu sprawdzenia, czy hydrofobizacja nie zakłóca dyfuzji par i gazów, wykonano badania paroprzepuszczalności cegły po hydrofobizacji.

Po zakończeniu badania nasiąkliwości wagowej, próbki starannie wytarto, a następnie pozostawiono w warunkach laboratoryjnych w temperaturze $20 \pm 5^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej $60 \pm 5\%$ w celu schnięcia. W tym czasie określano szybkość schnięcia próbek, mierząc ubytek masy próbek, świadczący o ilości odparowanej wody.

Wyznaczono procentowy spadek wilgotności, jako wskaźnik wilgotności cegły przed i po hydrofobizacji po 7 dniach wysychania próbek (tab. 2). Próbki wzorcowe oznaczono literą W.

Tabela 2. Procentowy spadek wilgotności po 7 dniach suszenia próbek [%]

Materiał	W	A	B	C
Spadek wilgotności	87,3	60,4	63,4	52,5

Woda odparowała najszybciej z materiału niehydrofobizowanego. Po 7 dniach suszenia cegła wzorcową (W) uzyskała średnią wilgotność o 87,3% niższą niż na początku badania. Dyfuzja pary wodnej zachodziła najlepiej w cegle hydrofobizowanej żywicą metylosilikonową o rozpuszczalniku organicznym (B), osiągając spadek wilgotności o 63,4%. Preparaty hydrofobowe o rozpuszczalnikach organicznych, zwłaszcza drobnocząsteczkowe oligomery (C), powodują nieznaczne uszczelnienie powierzchni materiału, co może utrudniać odparowanie wilgoci z materiałów. Świadczy o tym znaczna różnica w ilości odparowanej wilgoci pomiędzy cegłą hydrofobizowaną i wzorcową (23,9÷34,8%).

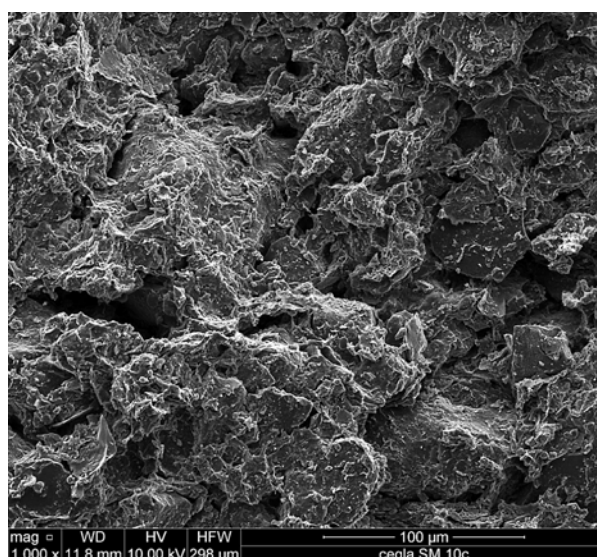
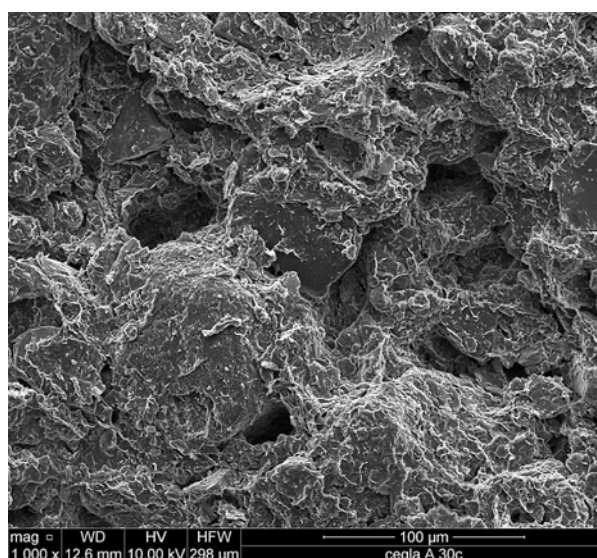
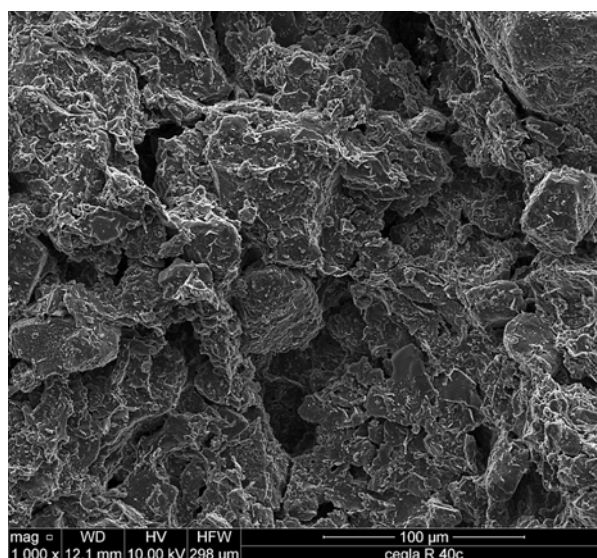
Mrozoodporność metodą bezpośrednią

Mrozoodporność cegły ceramicznej wyznaczono na podstawie PN-EN 12012:2007 [21] oraz PN-EN 13581:2004 [22]. Do badań przyjęto próbki o wymiarach $40 \times 40 \times 40$ mm. Cegłę wzorcową (W) i hydrofobizowane preparatami (A, B, C) poddano 50 cyklom zamrażania-rozmrażania. Po 50 cyklach wszystkie próbki wysuszone do stałej masy i oznaczono ubytek masy s poszczególnych próbek w % (tab. 3).

Tabela 3. Ubytek masy cegły s [%] po 50 cyklach zamrażania-rozmrażania i wysuszeniu do stałej masy

Materiał	W	A	B	C
Średni ubytek masy po 50 cyklach zamrażania – rozmrażania [%]	3,01	0,91	0,38	0,11

Hydrofobizowana cegła charakteryzuje się niewielką zmianą masy pod wpływem cykli zamrażania i rozmrażania w przypadku preparatu (A), natomiast preparaty (B, C) skutecznie zabezpieczyły cegłę przed korozją mrozową.



Ryc. 16. Rozłożenie preparatów o rozpuszczalnikach organicznych w porach cegły ceramicznej (powiększenie $\times 1000$): a) preparat A, b) preparat B, c) preparat C

Fig. 16. Distribution of the organic solvent preparations in pores of the ceramic bricks ($\times 1000$): a) preparation A, b) preparation B, c) preparation C

Rozmieszczenie żywicy silikonowej w mikrostrukturze cegły ceramicznej

Wykonano analizę rozłożenia powłoki hydrofobowej w porach cegły ceramicznej przy użyciu mikroskopu skaningowego (SEM) FEI Quanta 250 FEG. Teksturę żywicy na przelomie cegły przedstawiono na ryc. 16.

Próbki przygotowano w postaci cienkowarstwowych płytek, na których wykonano mikroanalizy rentgenowskie w trybie pola. Metodyka przygotowania próbek wyklucza powstanie mikrodefektów związanych z pękaniem powierzchni cegieł i powłok hydrofobowych.

Preparaty o rozpuszczalnikach organicznych tworzą ciągłą i równomiernie rozłożoną powłokę silikonową w mikrostrukturze skorodowanej cegły. Żel krzemionkowy charakteryzuje się drobnoporowatą mikrostrukturą i składa się z drobnych kulek. Pomimo iż nie zaobserwowano nierównomiernych, grubych warstw i skupisk żywicy, jak ma to niekiedy miejsce w innych drobnoporowatych materiałach, np. betonach czy wapieniu, powłoka w niewielkim stopniu zakłóca prawidłową dyfuzję pary wodnej z materiału ceramicznego.

PODSUMOWANIE

W celu podniesienia trwałości ceglanego komina zaproponowano w artykule nowoczesny system zabezpieczeń obejmujący, oprócz tradycyjnych metod czyszczenia, zabiegi chemiczne, które unieszkodliwiają sole rozpuszczalne w wodzie, oraz impregnację powierzchni komina. W praktyce dobór metod naprawczych często nie jest kompleksowy, ale związany z finansowymi możliwościami inwestora. Poprawne przeprowadzenie proponowanych prac modernizacyjnych decydować będzie o trwałości i bezpiecznej eksploatacji komina.

Badania eksperymentalne hydrofobizacji skorodowanej cegły komina wykazały, że skutecznie zabezpieczy ona powierzchnię komina przed dalszym procesem korozyjnym oraz podniesie jego trwałość, pod warunkiem usunięcia najważniejszych przyczyn procesów korozyjnych. Hydrofobizacja zabezpieczy płaszcz ceglany przed czynnikami destrukcyjnymi penetrującymi warstwy przypowierzchniowe i wewnętrzne komina.

Preparaty hydrofobowe o rozpuszczalnikach organicznych, zwłaszcza drobnocząsteczkowe oligomery, charakteryzuje największa skuteczność hydrofobizacji, pomimo że w praktyce powodują one uszczelnienie powierzchni utrudniając dyfuzję pary wodnej z materiałów.

W praktyce przed podjęciem decyzji o hydrofobizacji remontowanego obiektu ceglanego konieczne jest przeprowadzenie wstępnej analizy skuteczności hydrofobizacji, aby stwierdzić, czy spodziewany efekt będzie współmierny do poniesionych kosztów.

PODZIĘKOWANIA

Wyniki prac były finansowane w ramach środków statutowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr S/15/2015 i S/14/2015.

Silicone resin distribution in the microstructure of ceramic brick

The analysis of hydrophobic coating distribution in the pores of ceramic bricks using scanning electron microscopy (SEM) FEI Quanta 250 FEG was performed. The resin texture at the brick fracture has been shown in fig. 16.

Samples were prepared in the form of thin plates, on which the X-ray microanalysis was performed in the field mode. Methodology of sample preparation excludes the formation of microdefects associated with surface cracks of the bricks and hydrophobic coatings.

Preparations based on organic solvents produce a continuous and evenly distributed coating of silicone in microstructure of corroded brick. Silica gel is characterized by finely porous microstructure and is composed of fine balls. Despite the fact that uneven, thick layers and clusters of resin have not been observed, like it takes place in finely porous materials such as concretes or limestone, coating slightly disturbs normal diffusion of water vapor from the ceramic material.

CONCLUSIONS

In order to improve the durability of a brick chimney in the article a modern security system including, in addition to traditional cleaning methods, chemical treatments disposing of water-soluble salts, and impregnation of the chimney surface has been presented in the article.

In practice, the choice of repair methods is not often comprehensive, but associated with the financial capacity of the investor. Correct carrying out the proposed repair works will determine the durability and safe operation of the chimney.

Experimental investigations on corroded chimney brick hydrophobization have shown that hydrophobization will effectively protect surface of the chimney from further corrosion process and improves the durability, on condition that the main causes of corrosion processes will be removed. Chimney jacket will be secured against destructive agents penetrating subsurface layers and chimney interior by the hydrophobization.

Organic solvent based hydrophobizing preparations, especially small molecule oligomers cause the most effective hydrophobization despite the fact that, in practice, these preparations often cause sealing surface which hinders diffusion of water vapor from materials.

In practice, prior to taking decision regarding hydrophobization of renovating brick building, it is necessary to carry out a preliminary analysis of the effectiveness of material hydrophobization to determine whether the anticipated effect will be proportional to the costs incurred.

ACKNOWLEDGMENT

The research for this paper was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education as part of a statutory research project – number S/14/2015 and S/15/2015.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Stryzewska T., Kańska S., Matysek P. Ocena właściwości materiałów w trzonach kominów murowanych. *Materiały Budowlane* 2014;5:32-33.
- [2] Kamiński M., Maszczak M. Remont komina żelbetowego wysokości 160 m w wyniku uszkodzeń powierzchni zewnętrznej. *Materiały Budowlane* 2014;5:14-15.
- [3] Lechman M. Diagnostyka i utrzymanie kominów ceramicznych użytkowanych jako wieże antenowe. *Materiały Budowlane* 2014;5:24-25.
- [4] Błaszczński T. Modernizacja XIX-w. komina przemysłowego. *Przegląd Budowlany* 2012;11:43-46.
- [5] Barnat-Hunek D., Iwanek A. Badania nad hydrofobizacją zniszczonych murów ceglanych na przykładzie Pawilonu I Szpitala Tworowskiego w Pruszkowie. *Wiadomości Konserwatorskie* 2010;28:146-154.
- [6] Suchorab Z. Laboratory measurements of moisture in a model red-brick wall using the surface TDR probe. *Proceedings of ECOpole* 2013;7(1):171-176.
- [7] D'Agostino D. Moisture dynamics in an historical masonry structure: The Cathedral of Lecce (South Italy). *Building and Environment* 2013;63:122-133.
- [8] Kamiński M., Ubysz A. Destrukcja żelbetowego komina przemysłowego spowodowana błędami technologii prac remontowych. *Przegląd Budowlany* 2012;4:55-58.
- [9] Gonçalves T.D., Pel L., Rodrigues J.D. Influence of paints on drying and salt distribution processes in porous building materials. *Construction and Building Materials* 2009;23:1751-1759.
- [10] Karoglou M., Bakolas A., Moropoulou A., Papapostolou, A. Effect of coatings on moisture and salt transfer phenomena of plasters. *Construction and Building Materials* 2013;48:35-44.
- [11] Ottosen, L. M., Pedersen A. J., Rørig-Dalgaard I. Salt-related problems in brick masonry and electrokinetic removal of salts. *Journal of Building Appraisal* 2007;3(3):181-194.
- [12] Gentilini C., Franzoni E., Bandini S., Nobile L. Effect of salt crystallization on the shear behaviour of masonry walls: An experimental study. *Construction And Building Materials* 2012;37:181-189.
- [13] Domasłowski W. Zasady konserwacji murów ceglanych i kamiennych detali architektonicznych. *Ochrona Zabytków* 2005;1:97-112.
- [14] O'Brien P.F., Bell E., Santamaria S.P., Boyland P., Cooper T.P. Role of mortars in the decay of granite. *Science of the Total Environment* 1995; 167:103-110.
- [15] Sedlmajer M., Zach J., Hroudova J. Development of masonry components protected against moisture. *Advanced Materials Research* 2014;860-863: 1248-1251.
- [16] MacMullen J., Zhang Z., Rirsch E., Dhakal H.N., Bennett N. Brick and mortar treatment by cream emulsion for improved water repellence and thermal insulation. *Energy and Buildings* 2011; 34:1560-1565.
- [17] WTA 2-6-99-D Ergänzungen zum Merkblatt 2-2-99-D „Sanierputzsysteme“.
- [18] PN-EN 1936:2010 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości.
- [19] Krzywobłocka-Laurów R. ZUAT-15/VI.11-2/2001 Preparaty do powierzchniowej hydrofobizacji wyrobów budowlanych. Cz. 2. Wyroby ceramiczne. ITB, Warszawa, 2001.
- [20] PN-EN 13755:2008 Metody badań kamienia naturalnego – Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym.
- [21] PN-EN 12012:2007 Metody badań elementów murowych. Określanie odporności na zamrażanie – odmrażanie elementów murowych ceramicznych.
- [22] PN-EN 13581:2004 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Metody badań – Oznaczanie ubytku masy betonu hydrofobizowanego przez impregnację po działaniu zamrażania-rozmrażania w obecności soli.

Streszczenie

W artykule przedstawiono ocenę stanu technicznego komina murowanego z cegły oraz zaproponowano zakres prac remontowych. Badania skuteczności hydrofobizacji komina poprzedziła dokładna diagnostyka obiektu, która polegała na sprawdzeniu m.in. zawartości soli i stopnia zawilgocenia płaszczu komina, ponieważ wysoki stopień zasolenia i duża zawartość wody w porach materiału wyklucza zastosowanie hydrofobizacji. Materiał badawczy stanowiła cegła pobrana z płaszczu przemysłowego komina murowanego. W części eksperymentalnej dokonano obiektywnej oceny preparatów, które mogą być wykorzystane do hydrofobizacji powierzchni komina.

Abstract

The aim of the research presented in the paper was to evaluate the technical condition of the masonry chimney and to propose scope of modernization process. The studies of effectiveness of hydrophobization were preceded by a thorough diagnosis of the building, which involved checking of the salt content and the degree of moisture of chimney jacket. If the salt content and water content in the pores of the material were too high the hydrophobization could not be used. In presented paper the brick from industrial jacket of chimney was tested. Experimental section contains an objective evaluation of preparations which can be used for the chimney surface hydrophobization.