

Jerzy Jasieńko, Olga Mierzejewska, Katarzyna Hamrol, Witold Misztal

Utrwalanie koron murów obiektów historycznych przeznaczonych do ekspozycji w formie trwałej ruiny

Fixing the wall crests in historic building structures to be exhibited as permanent ruin

1. Wstęp

Ruiny to relikty dzieł architektury i inżynierii, które wraz z upływem czasu uległy znacznej destrukcji. Z uwagi na fakt, iż ruiny stanowią niezwykle wartość estetyczną w krajobrazie kulturowym, pojawiają się (często poddyktowane źle pojętą troską o zabytek) próby rekonstrukcji obiektów. W Karcie Weneckiej czytamy: „Restauracja jest zabiegiem, który powinien zachować charakter wyjątkowy. Ma ona za cel zachowanie i ujawnienie estetycznej i historycznej wartości zabytku oraz polega na poszanowaniu dawnej substancji i elementów stanowiących autentyczne dokumenty przeszłości. Ustaje ona tam, gdzie zaczyna się domysł” [15]. W większości przypadków nie dysponujemy danymi o wystarczającym stopniu pewności, aby rekonstrukcję przeprowadzić, należy więc przede wszystkim podejmować działania o charakterze zachowawczym.

Za obiekty historyczne, do których zagadnienie to odnosi się w sposób szczególny, uznać należy mury kamienne lub ceglane stanowiące pozostałości budowli takich jak zespoły pałacowe, zamkowe lub fortyfikacje w formie murów obwodowych. Ze względu na wartość estetyczną, wrażenie artystyczne, a co za tym idzie, walory turystyczne murów obiektów historycznych powstaje problem ich konserwacji w celu ekspozycji w formie trwałej ruiny. Jednym z podstawowych problemów w konserwacji zachowawczej ruin murów obiektów historycznych zostaje zagadnienie utrwalania korony muru w sposób zgodny z doktryną konserwatorską, przy jednoczesnym zapewnieniu pożądanego efektu zabezpieczenia przed dalszą degradacją substancji zabytkowej. W pracy przedstawiono najczęstsze przyczyny powstawania uszkodzeń

1. Introduction

Ruins are the relics of works of architecture and engineering, which over time have undergone considerable degradation. Since ruins constitute an unusual aesthetic value in the cultural landscape, attempts (often dictated by ill-conceived care) are made to reconstruct the historic building structures. In the Venice Charter it is written: “Restoration is a treatment which should preserve the exceptional character. Its aim is to preserve and bring out the aesthetic and historic value of a historic building structure and it consists in respecting the ancient substance and elements constituting authentic documents of the past. It stops there where guesswork begins” [15]. In most cases, no sufficiently certain data are available in order to carry out reconstruction. Then first of all preservation measures should be taken.

The above applies mainly to historic perimeter stone or brick walls, being the remains of such building structures as palace and castle complexes or fortifications. Because of their aesthetic value and artistic impression, and consequently their tourist qualities, the question arises how to conserve the walls of historic building structures in order to display them in the form of permanent ruins. One of the major problems in the conservation of the walls of historic building structures is the fixing of the wall crest, aimed at protecting the historic substance against further degradation, in accordance with the conservation doctrine. The paper presents the most frequent causes of damage to the crests of walls designated to be preserved in the form of ruins and a comparative analysis of the methods used to conserve such building structures.

koron murów proponowanych do zachowania w formie ruiny oraz analizę porównawczą dostępnych metod stosowanych przy konserwacji tego typu obiektów.

2. Przyczyny degradacji obiektów murowych pozostających w ruinie

Współczesne metody konserwacji murów wymagają wiedzy na temat stosowanych w przeszłości technik budowlanych oraz kompleksowego rozpoznania przyczyn powstawania uszkodzeń substancji historycznej. Proces destrukcji koron murów w ruinie powodowany jest przez naturalne czynniki degradujące oraz niszczącą działalność człowieka. Głównymi przyczynami degradacji murów są: wilgoć, zasolenie, korozja biologiczna oraz czynniki mechaniczne [11]. Niekorzystne zmiany mają charakter dynamiczny i intensywny, ściśle powiązany z materiałami i technologią wzniesienia muru, a zatem właściwościami fizykochemicznymi budulca, jakością wykonania obiektu oraz agresywnością środowiska, w którym powstał. W dalszej części pracy zaprezentowano niszczące mechanizmy działania omówionych wyżej czynników.

Do podstawowych przyczyn uszkodzeń zaliczyć należy działanie wody. Nadmierne zawilgocenie ma bezpośredni i pośredni wpływ na zjawisko degradacji muru. Zwiększenie ilości wody w przestrzeni muru powoduje zaostrenie procesów związanych z korozją biologiczną, solną oraz mrozową. Skutki zawilgocenia mają negatywny wpływ na większość materiałów budowlanych, a zatem w przypadku murów na cegłę, kamień i zaprawę.

Podstawowym źródłem wilgoci zagrażającej bezpośrednio koronom murów jest woda opadowa. Deszcz jest mieszaniną kwasów o słabym stężeniu. W jego skład wchodzi krople tworzące się w atmosferze wraz z rozpuszczonymi w nich związkami chemicznymi oraz wszystkie cząstki, pyły i składniki gazowe zebrane z atmosfery w trakcie opadania kropel deszczu. Degradację substancji historycznej zwiększa oddziaływanie wiatru powodując, wraz z wodą opadową, ścieranie i niszczenie zaprawy w spoinach muru [2]. Proces ten wpływa na obniżenie nośności pozbawionych spoin fragmentów muru. Następuje systematyczne oddzielanie się cegieł i kamieni od muru, co w konsekwencji powoduje degradację konstrukcji. Zbyt duże zawilgocenie wpływa na obniżenie wytrzymałości na ścislenie zarówno cegły, jak i zaprawy, co jest kolejnym czynnikiem prowadzącym do obniżenia trwałości muru.

Inną przyczyną niszczenia korony muru jest cykliczne zamarzanie i odmarzanie wody gromadzącej się w drobnych zagłębieniach lub wnękach. Woda zamarzając zwiększa swoją objętość powodując tym samym niszczenie materiału. Zjawisko to jest szczególnie widoczne na elewacjach południowych, gdzie proces zamarzania i odmarzania powtarza się wielokrotnie.

Kolejnym czynnikiem powodującym obniżenie trwałości murów i prowadzącym do ich degradacji jest krystalizacja soli łatwo rozpuszczalnych w wodzie. Szczególnie narażone na wysolenia są miejsca o podwyższonej wilgotności, ponieważ nośnikiem soli w materiałach budowlanych jest właśnie woda. Do podstawowych źródeł zasolenia obiektów historycznych można zaliczyć sole podciągane z gruntu w postaci rozpuszczonej, przede

2. Causes of degradation of masonry structures remaining in ruin

Current methods of conserving masonry require knowledge of the building techniques used in the past and a comprehensive identification of the causes of damage to the historic substance. The degradation of the wall crests in a ruin is caused by natural degrading factors and the destructive human activity. The main causes of masonry degradation are moisture, salinization, biological corrosion and mechanical factors [11]. The adverse changes have a dynamic and intensive character closely linked with the materials and the technology used to erect the masonry and so with the physicochemical properties of the building materials, the workmanship and the aggressiveness of the environment. The destructive mechanisms of the above factors are presented later in the paper.

Water action belongs to the main causes of damage. Excessive accumulation of moisture has a direct and indirect effect on the degradation of masonry. As the amount of water inside the masonry increases, the processes of biological, saline and frost corrosion intensify. Moisture accumulation has an adverse effect on most building materials, including bricks, stones and mortar.

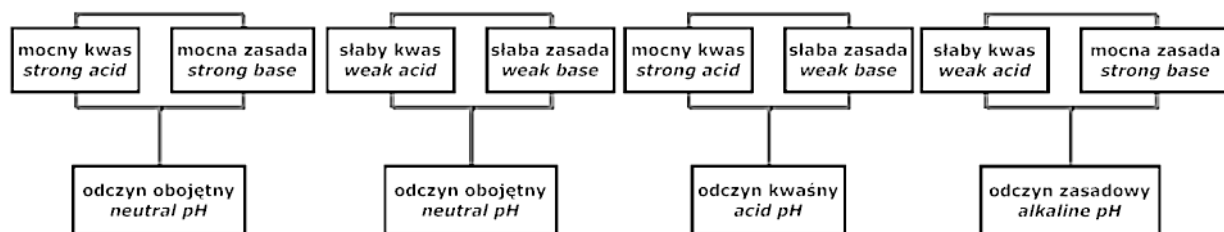
The main source of moisture which has a direct detrimental effect on wall crests is rainfall water. Rain is a mixture of low-concentration acids. It contains drops (formed in the atmosphere) with dissolved chemical compounds and all kinds of particles, dust and gaseous components collected from the atmosphere by the falling raindrops. The degradation of the historic substance is compounded by wind action which combined with rainwater abrades and destroys the mortar in the masonry's joints [2]. As a result, the load capacity of the wall parts without joints deteriorates, bricks and stones separate from the wall whereby the structure undergoes degradation. Excessive dampness leads to the deterioration in the compressive strength of both the bricks and the mortar and consequently, to the deterioration of the masonry's durability.

Another factor responsible for the degradation of the masonry wall crest is the repeated freezing and unfreezing of the water collecting in small hollows or cavities. While freezing, water increases its volume and thereby causes damage to the material. This is particularly visible on southern elevations where the freezing-unfreezing process repeats itself many times.

Another factor responsible for the degradation of masonry walls and leading to their degradation is the crystallization of salts readily soluble in water. Places with an elevated moisture content are especially susceptible to this process since it is water which is the carrier of salts in building materials. Among the principle sources of salinity in historic building structures there are dissolved salts, mainly nitrites and chlorides, rising by capillary action from the ground. The concentration of these compounds in the ground increases due to, among other things, the decomposition of dead plants close to building structures or the neighbourhood of farm buildings and the associated contamination. As

wszystkim azotany i chlorki. Na podwyższenie stężeń tych związków w gruncie wpływa m.in. rozkład obumarłej roślinności w zasięgu obiektów lub sąsiedztwo zabudowań inwentarskich i związane z tym zanieczyszczenia. Dodatkowo, jeżeli chodzi o chlorki, to źródłem ich występowania w gruncie jest stosowanie soli w okresie zimowym. Przyczyną obecności soli z grupy siarczanów w obiektach są opady atmosferyczne, zwłaszcza tzw. kwaśne deszcze oraz reakcje materiałów z zanieczyszczonym powietrzem. Degradacja murów wynika z wnikania w głąb kamienia, cegły i zaprawy wody deszczowej wraz z tlenkami kwasowymi występującymi w zanieczyszczonej atmosferze. Kolejną przyczyną zasolenia obiektów zabytkowych leży w źle dobranych środkach i metodach używanych w pracach konserwatorskich i impregnacyjnych, zwłaszcza stosowaniu środków zawierających kwasy, zasady lub nieorganiczne związki krzemu.

Sole powstają na skutek reakcji zobojętniania kwasu zasadą. Odczyn soli jest zależny od rodzaju substancji biorących udział w procesie jej tworzenia, ryc. 1.



Ryc. 1. Zależność odczynu powstałej soli od rodzaju użytych substratów
Fig. 1. Dependence between salt's pH and kind of substrates

Wspomniane już siarczany, chlorki, azotany oraz węglany sodu, potasu, wapnia, amonu i żelaza należą do najbardziej rozpowszechnionych soli występujących w obiektach budowlanych. Pod względem mineralogicznym najczęściej występują: chlorki (halit NaCl, sylwin KCl), azotany (nitronatryt NaNO₃, nitrokalit KNO₃, nitromagnezyt Mg(NO₃)₂), siarczany (mirabilit Na₂SO₄, epsomit gSO₄·7H₂O, tenardyt Na₂SO₄, gips CaSO₄·2H₂O), węglany (termonatryt Na₂CO₃·H₂O, natron Na₂CO₃·10H₂O) [11]. W obiektach budowlanych bardzo rzadko obserwuje się występowanie tylko jednego rodzaju soli, zwykle spotyka się kryształy o mieszanej budowie. Skład chemiczny soli wprost wpływa na siłę i dynamikę procesów niszczących w materiałach budowlanych. Zgodnie z [12] klasyfikacja poziomów zasolenia murów jest zgodna z tabelą 1.

regards chlorides, an additional cause of their presence in the ground is the use of salt for de-icing in the winter period. The source of sulphate salts in building structures is atmospheric precipitation, especially acid rain, and reactions of the materials with polluted air. The degradation of masonry walls is the consequence of the penetration of rain water with acid oxides (present in the polluted atmosphere) into the stone, the brick and the mortar. Another cause of salt accumulation in historic buildings are improper agents and methods used in conservation and wet-proofing work, especially the use of agents which contain acids, bases or inorganic silicon compounds.

Salts form as a result of the neutralization of an acid with a base. A salt's pH depends on the kind of substances participating in its formation, fig. 1.

The above mentioned sulphates, chlorides and sodium, potassium, ammonium and iron carbonates belong to the most common salts which occur in building structures. In terms of mineralogy, the most common are: chlorides (halite NaCl, sylvine KCl), nitrates (nitronatron NaNO₃, nitrokalite KNO₃, nitromagnesite Mg(NO₃)₂), sulphates (mirabilite Na₂SO₄, epsomite MgSO₄·7H₂O, thenardite Na₂SO₄, gypsum CaSO₄·2H₂O) and carbonates (thermonatron Na₂CO₃·H₂O, natron Na₂CO₃·10H₂O) [11]. In building structures the occurrence of only one kind of salt is very rare – usually crystals with a mixed structure are found. The chemical composition of a salt has a direct bearing on the strength and dynamics of destructive processes in building materials. According to [12], masonry salinity levels are classified as shown in table 1.

Tab. 1. Klasyfikacja poziomów zasolenia murów, [12]
Tab. 1. Classification of masonry salinity levels [12]

Poziom zasolenia / Salinity level	Chlorki / Chlorides [%]	Siarczany / Sulphates [%]	Azotany / Nitrates [%]
wysoki / high	>0.5	>1.5	>0.3
średni / medium	0.2 – 0.5	0.5 – 1.5	0.1 – 0.3
niski / low	<0.2	<0.5	<0.1

Sole krystalizują podczas odparowywania wody zawartej w murach. Krystalizacja powoduje zwiększenie objętości soli. Na skutek tego procesu w murze powstają na-

Salts crystallize as the water contained in masonry walls evaporates. As a result of crystallization the volume of the salts increases whereby tensile stresses and

prężenia rozciągające, wytwarza się ciśnienie krystalizacji, hydrostatyczne ciśnienie krystalizacji, ciśnienie hydratacji oraz ciśnienie osmotyczne [5], powodujące degradację obiektu. Powstające ciśnienie jest na tyle duże, iż doprowadza do pęknięcia ścianek porów i rozluźniania warstw powierzchniowych w materiale, w konsekwencji powodując rozpad ziarnisty, łuszczenie się i pęknięcie. Ponadto destrukcyjne działanie soli zwiększa się, gdy płaszczyzna odparowywania wody znajduje się wewnątrz przekroju muru. Krystalizacja soli odbywa się wtedy wewnątrz lub na styku materiałów w przypadku murów wielowarstwowych. Efekty degradacji zaczynają być widoczne dopiero po pewnym czasie. Wtedy to obserwuje się zniszczenie lub odspojenie zewnętrznych partii muru.

Niepożądanym procesem jest również krystalizacja soli na powierzchni muru. Co prawda bezpośrednio zagrożenie zniszczeniem jest w tym przypadku mniejsze, jednak zjawisko to znacznie pogarsza estetykę obiektu. Następstwem krystalizacji soli na powierzchni materiału są plamy, przebarwienia, wykwity, zacieki, puszyste naloty i szkliste powłoki [11]. Powierzchniowa krystalizacja soli może przebiegać wielokrotnie. Sole po krystalizacji są nadal łatwo rozpuszczalne i po otrzymaniu określonej ilości wilgoci przechodzą do roztworu. Po odparowaniu wody krystalizują po raz kolejny powodując dodatkowe zniszczenia.

Następstwem występowania soli w murach jest również zwiększenie zdolności higroskopijnego wchłaniania wilgoci. W mocno zasolonych murach występuje wzrost zawilgocenia wskutek sorpcji wilgoci z powietrza. Efektem tego procesu są lokalne zawilgocenia w postaci plam widocznych na murach. Ilość wilgoci pobieranej z otoczenia zależy od rodzaju i stężenia soli występującej w materiale oraz wilgotności względnej powietrza.

Podobnie jak w przypadku krystalizacji soli, jedną z głównych przyczyn pojawienia się korozji biologicznej w murach jest wilgoć. Jej podwyższony poziom jest warunkiem występowania szkodników biologicznych odpowiedzialnych za niszczenie elementów budowli. Do tych organizmów zalicza się przede wszystkim bakterie, porosty, grzyby pleśniowe, grzyby domowe, owady oraz rośliny zielone.

Procesy odpowiedzialne za korozję materiałów budowlanych można zaklasyfikować w dwie grupy: chemiczną, asymilacyjną biodeteriorację oraz chemiczną dysymilacyjną biodeteriorację [1]. Pierwsza z nich występuje wówczas, gdy materiał jest degradowany z powodu swojej wartości odżywczej. W przypadku murów ma to miejsce tylko, jeśli w obiektach wykorzystywane są elementy drewniane lub jeżeli drewno zastosowano do budowy elementów komunikacji, czyli schodów, pomostów, punktów widokowych na koronie murów bądź jako konstrukcję zadaszenia. Chemiczna dysymilacyjna biodeterioracja ma miejsce, gdy metabolity drobnoustrojów uszkadzają materiał budowlany. Powoduje to korozję, pigmentację oraz wydzielanie toksycznych produktów metabolizmu do materiału. Przykładem jest mikrobiologiczna korozja elementów murowych i zapraw. Warto podkreślić, iż sama obecność organizmów żywych węgietujących na powierzchni materiału budowlanego jest dla niego i jego właściwości niekorzystna. W literaturze przedmiotu zjawisko to nosi nazwę *biofouling*. Przykładem

crystallization pressure, hydrostatic crystallization pressure, hydration pressure and osmotic pressure arise in the masonry and cause its degradation [5]. The pressure builds up so much that the walls of pores burst and the surface layers in the material loosen, which results in granular disintegration, scaling and cracking. Moreover, the destructive action of salts intensifies when the water evaporation plane is inside the masonry wall cross section. Then salt crystallization takes place solely inside the materials or at the interfaces between them (in the case of multi-layer masonry walls). The effects of the degradation become visible only after some time and manifest themselves in the destruction or separation of the external parts of the masonry wall.

Also the crystallization of salts on the surface of masonry is undesirable. Although in this case the immediate danger of damage is smaller, the aesthetics of the building structure suffer considerably. The crystallization of salts on the surface of a material results in stains, colour variations, patches of efflorescence, water marks, fluffy blooms and glassy coatings [11]. Surface salt crystallization can occur repeatedly. After crystallization the salts are still readily soluble and when they absorb a certain amount of moisture, they pass to the liquid state. When the water evaporates, they crystallize again, causing further damage.

Another consequence of the presence of salts in masonry walls is their increased hygroscopic moisture absorption capacity. The dampness of strongly saline masonry walls increases due to the sorption of moisture from the air. As a result, local damp areas in the form of stains appear on them. The amount of moisture absorbed from the environment depends on the kind and concentration of the salt present in the material and on the relative air humidity.

Similarly as in the case of salt crystallization, one of the main causes of biological corrosion in masonry walls is moisture. Its elevated level results in the occurrence of biological pests responsible for the destruction of building structure components. These organisms include primarily bacteria, lichens, mildews, house fungi, insects and green plants.

The processes responsible for the corrosion of building materials can be classified into two groups: chemical assimilative biodeterioration and chemical dissimilative biodeterioration [1]. As regards the former group, the material is degraded because of its nutritional value. In the case of masonry walls this occurs only when the masonry structure includes wooden components or if wood was used to build circulation path elements (such as stairs, walkways and beauty spots on the crest of the walls) or roofings. Chemical dissimilative biodeterioration occurs when microorganisms' metabolites damage the building material, which leads to corrosion, pigmentation and the secretion of toxic products of metabolism into the material. An example here is the microbiological corrosion of masonry components and mortars. It should be noted that even the mere presence of organisms living on the surface of a building material is detrimental to the latter and its properties. In the literature on the subject this is referred to as *biofouling*. An exam-

dem może być obrastanie całych ścian przez zróżnicowaną grupę organizmów [1].

Niekorzystne działanie szkodników biologicznych ma wielorakie konsekwencje, jednak dla murów w ruinie największe znaczenie mają skutki techniczne. Polegają one na obniżeniu wytrzymałości elementów i nośności konstrukcji, prowadząc do stopniowego niszczenia obiektu. Inne zagrożenie niosą ze sobą skutki estetyczne. Obniżenie walorów estetycznych porażonych elementów, a więc przebarwienia, łuszczenie wpływają negatywnie na odbiór obiektów historycznych.

Rośliny zielone porastające powierzchnię murów wykazują działanie niszczące. Ich rozwój zapoczątkowuje pojawienie się humusu w szczelinach i na koronie muru. Wzrost roślin jest szczególnie intensywny w miejscach o podwyższonej wilgotności. Rośliny działają na kamień (cegłę) niszcząco, wydzielając agresywne substancje, np. kwas humusowy [9] powodujący rozkład węgla wapnia. Mechaniczne oddziaływanie roślin objawia się rozwarstwianiem muru na skutek rozrastającego się systemu korzeniowego. Roślinność, która stale porasta zawilgocony materiał, stwarza zwartą powłokę uniemożliwiającą swobodne odparowywanie wody. Nawet w okresach silnego nasłonecznienia na obszarach porośniętych przez rośliny utrzymuje się stały cień utrzymujący wilgoć w materiale [9].

3. Metody konserwacji, wzmocnienia i napraw

Strukturę korony murów można poddawać konserwacji za pomocą związków chemicznych lub poprzez fizyczną ingerencję w budowę korony muru. Do współcześnie używanych metod należy między innymi zastosowanie zapraw na bazie żywic syntetycznych chroniących przed penetracją wody w głąb przekroju murowego. Rozwiązanie to jest kontrowersyjne z punktu widzenia doktryny konserwatorskiej oraz trwałości murów w warstwach niższych, stąd musi być stosowane w wyjątkowych przypadkach, w sposób wyjątkowo ostrożny, przemyślany, podyktowany wyjątkowymi warunkami ekspozycji obiektu.

Zywice epoksydowe są to związki mało- i średnio-cząsteczkowe, które zawierają co najmniej dwie grupy funkcyjne w postaci trójczłonowych pierścieni zwanych grupami epoksydowymi. Prawie 90% globalnej produkcji żywic stanowią żywice dianowe otrzymane z epichlorohydryny i dianu (ryc. 4).

W Polsce żywice epoksydowe są produkowane pod nazwą Epidian. Epidiany nie zawierają rozpuszczalników, rozcieńczalników, wypełniaczy ani innych dodatków. Zależnie od warunków kondensacji oraz stosunku molowych substratów (epichlorohydryny i dianu) otrzymuje się Epidiany zróżnicowane pod względem wielkości cząstek, ilości grup epoksydowych i grup hydroksylowych, [3].

Zywice epoksydowe charakteryzują się zdolnością do polireakcji zwanych reakcjami utwardzania. W ich wyniku powstają produkty usieciowane, nietopliwe w normalnych temperaturach i nierozpuszczalne. Żywice wykazują niewielki, całkowity skurcz objętościowy przy utwardzaniu. Zwłaszcza mieszaniny wytworzone na ich bazie przy dodaniu np. mączki kwarcowej. Są odporne na działanie wody, czynników atmosferycznych i mikroorgani-

ple here are entire walls overgrown with a diversified group of organisms [1].

The adverse effect of biological pests has various consequences, but for masonry walls in ruin the most critical are the technical consequences. These consists in the deterioration of the strength of the components and the load-bearing capacity of the structure, leading to the gradual destruction of the latter. Another consequence may be the deterioration of the aesthetic qualities of the affected components, which has a negative impact on the reception of historic building structures.

Green plants growing on the surface of masonry walls have a destructive effect on the latter. Their growth leads to the appearance of humus in crevices and on the wall crests. The growth of plants is especially intensive in places with elevated dampness. Plants act destructively on the stones (bricks), secreting aggressive substances, such as humus acid [9] which causes the decomposition of calcium carbonate. The mechanical action of plants manifests itself in the delamination of masonry as a result of the expansion of the root system. Vegetation which permanently overgrows a damp material forms a dense coat which does not allow water to evaporate freely. Even during periods of strong insolation there is constant shade in the areas overgrown with plants whereby the material remains damp [9].

3. Methods of conserving, strengthening and repairing

The structure of the wall crest can be conserved using chemical compounds or through physical intervention into its structure. One of the current methods consists in the use of mortars based on synthetic resins preventing water from penetrating into the masonry cross section. This solution is controversial from the point of view of the conservation doctrine and the durability of the masonry in the lower layers and therefore it should be used in exceptional cases and in a well-thought-out and careful way dictated by the exceptional exposure conditions.

Epoxy resins are low- and medium-molecular compounds which contain at least two functional groups in the form of three-member rings referred to as epoxy groups. BPA resins obtained from epichlorohydrin and bisphenol A (fig. 4) constitute nearly 90% of the total production of resins.

In Poland, epoxy resins are produced under the label Epidian. Epidians do not contain solvents, diluters, fillers or other additives. Depending on the condensation conditions and the molar ratio of the substrates (epichlorohydrin and BPA), Epidians differing in the size of their molecules and the number of epoxy groups and hydroxyl groups are obtained [3].

Epoxy resins are capable of polyreactions, called setting reactions. The latter yield cross-linked products which are infusible at normal temperatures and insoluble. Epoxy resins (especially epoxy resin-based mixtures with an addition of, e.g., quartz dust) show slight total volumetric shrinkage while setting. They are resistant to the action of water, atmospheric agents and microorganisms. They are characterized by good hydrophobic prop-

zmów. Cechują się wysokimi właściwościami hydrofobowymi. Są odporne na zmiany temperatury i mrozy w zakresie od -5°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Wszystkie te cechy czynią żywice epoksydowe doskonałym dodatkiem do zapraw, poprawiającym ich właściwości wytrzymałościowe oraz odporność na niekorzystne działanie środowiska zewnętrznego.

Powyższą tezę potwierdzają m.in. wyniki badań przeprowadzonych w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Ich celem było opracowanie technologii i zaproponowanie materiałów do wykonywania spoin łączących formatowane kostki granitowe, narażone na wpływy atmosferyczne w okresie całego roku, w obiektach historycznych i destrukcjach budowlanych w Muzeum Gross-Rosen. Z formatowanych kostek granitowych w Gross-Rosen wykonane były w przeszłości, obecnie w części zachowane, cokoły baraków obozowych o konstrukcji drewnianej. Obóz w Gross-Rosen, obecnie muzeum, jest położony w otwartym terenie (Rogoźnica, woj. dolnośląskie), gdzie wpływy atmosferyczne oddziałują szczególnie negatywnie na wszystkie zachowane obiekty. Wcześniejsze prace konserwatorskie, wielokrotnie prowadzone na cokołach przy użyciu zapraw cementowych (co należy uznać za błąd konserwatorski), ale również zapraw wapiennych, nie dały rezultatu. Po ok. 2 latach występowała kolejna destrukcja polegająca na separacji przekrojów.

W trakcie realizacji prac badawczych przebadano następujące materiały przeznaczone do spoinowania kostek granitowych:

- zaprawa cementowa M12 na cemencie CEM I 32,5 – zaprawa 1,
- zaprawa na żywicy poliuretanowej Harz PU 94 BM firmy UNI HARZ – zaprawa 2,
- zaprawa na żywicy epoksydowej GI 194 DICHT firmy UNI HARZ – zaprawa 3,
- zaprawa na żywicy epoksydowej GI 194 DICHT wzbogacona dodatkiem żywicy Epidian 5 – zaprawa 4,
- zaprawa na żywicy epoksydowej GI 166TW firmy Gremmler Bauchemie GmbH – zaprawa 5,
- zaprawa na żywicy epoksydowej GI 165 firmy Gremmler Bauchemie GmbH – zaprawa 6.

Opracowano również dwie receptury zapraw do spoinowania kostek granitowych na bazie żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczami TĘCZA (Z-1) – zaprawa 7 i PAC – zaprawa 8, produkowanymi przez Zakłady Chemiczne „Organika – Sarzyna” SA w Nowej Sarzynie. Jako wypełniacze zastosowano piasek kwarcowy o uziarnieniu 0/2 mm, mączkę kwarcową oraz cement portlandzki.

Do tworzenia modeli spoin użyto formatowanych kostek granitowych w kształcie zbliżonym do sześcianu o boku około 10 cm, dostarczonych przez Muzeum Gross-Rosen. Były to zarówno kostki historyczne, jak i wykonane współcześnie, pochodzące z tego samego górotworu.

Badania zapraw do spoinowania kostek granitowych obejmowały:

- oznaczenie wytrzymałości na zginanie i wytrzymałości na ściskanie według normy PN-EN 196-1 na próbkach $4 \times 4 \times 16$ cm,
- oznaczenie mrozoodporności po 50 cyklach zamrażania w temperaturze -20°C i odmrażania w temperaturze 20°C na próbkach $4 \times 4 \times 16$ cm,

erties and are resistant to frost and temperature variation in a range from -5°C to $+50^{\circ}\text{C}$. All these characteristics make epoxy resins an excellent addition to mortars, improving their strength properties and resistance to the adverse effects of the environment.

The above statement has been corroborated by, among other things, the results of the research carried out in the Institute of Building Engineering at Wrocław University of Technology. The aim of the research was to develop a technology and propose materials for making joints which would bind formatted granite setts exposed all year round to atmospheric influences in historic building structures and in the reclaimed building structures in the Gross-Rosen Museum. In the past in Gross-Rosen the base courses (partially preserved today) of the concentration camp timber barracks were made from formatted granite setts. The Concentration Camp in Gross-Rosen (today a museum) is located in open terrain (Rogoźnica, Lower Silesian Province) where the atmospheric influences particularly adversely affect the surviving building structures. The earlier conservation (repeated several times) of the base courses by means of cement mortars (which should be regarded as a wrong conservation decision) and also lime mortars was unsuccessful. After about 2 years another damage consisting in the separation of the cross sections occurred.

In the course of the research the following materials for joining granite setts were tested:

- cement mortar M12 based on cement CEM I 32,5 – mortar 1,
- mortar based on polyurethane resin Harz PU 94 BM made by UNI HARZ – mortar 2,
- mortar based on epoxy resin GI 194 DICHT made by UNI HARZ – mortar 3,
- mortar based on epoxy resin GI 194 DICHT enriched with an addition of Epidian 5 resin – mortar 4,
- mortar based on epoxy resin GI 166TW made by Gremmler Bauchemie GmbH – mortar 5,
- mortar based on epoxy resin GI 165 made by Gremmler Bauchemie GmbH – mortar 6.

Two compositions of mortars for joining granite setts, based on epoxy resin Epidian 5 with curing agents: TĘCZA (Z-1) – mortar 7 and PAC – mortar 8, produced by the Chemical Plant „Organika – Sarzyna” SA in Nowa Sarzyna, were developed. Quartz sand with a grading of 0/2 mm, quartz dust and Portland cement were used as the fillers.

Formatted granite setts with a shape close to a cube with an approx. 10 cm side, delivered by the Gross-Rosen Museum, were used to create models of the joints. The granite setts included historic setts and currently made setts, but originating from the same quarry.

The testing of the mortars for joining granite setts covered:

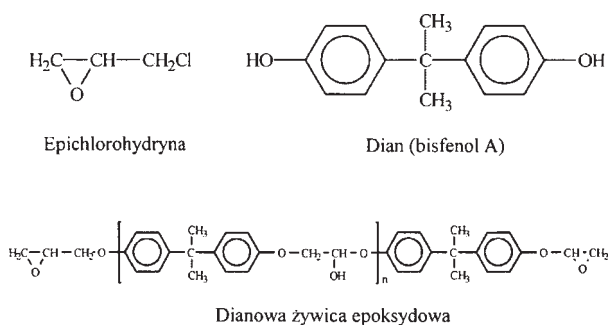
- determination of bending strength and compressive strength for $4 \times 4 \times 16$ cm specimens in accordance with standard PN-EN 196-1,
- determination of frost-resistance after 50 cycles of freezing at a temperature of -20°C and unfreezing at a temperature 20°C for $4 \times 4 \times 16$ cm specimens,



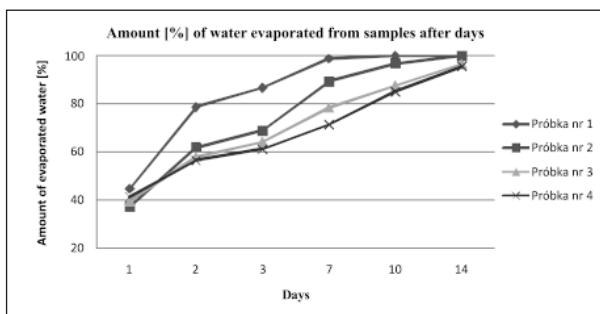
Ryc. 2. Uszkodzenia spoin muru obwodowego Niemczy, woj. dolnośląskie, spowodowane rozwojem roślinności (fot. W. Misztal)
 Fig 2. Damage to joints in perimeter wall of Niemcza (Lower Silesian Province) caused by growth of vegetation (photo by W. Misztal)



Ryc. 3. Ubytki kamiennych elementów murowych korony muru obwodowego Niemczy, woj. dolnośląskie (fot. W. Misztal)
 Fig. 3. Loss of masonry components in crest of perimeter wall of Niemcza (Lower Silesian Province; photo by W. Misztal)



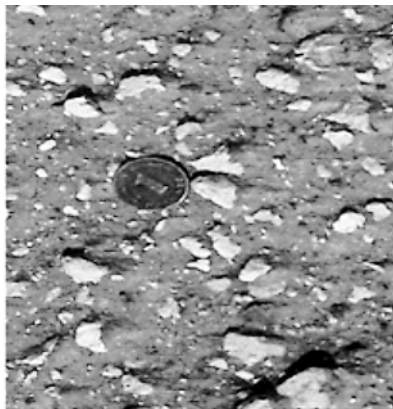
Ryc. 4. Wzory strukturalne epichlorohydryny, dianu i dianowej żywicy epoksydowej [3]
 Fig. 4. Structural formulas of epichlorohydrin, bisphenol A and BPA epoxy resin [3]



Ryc. 6. Wykres ilości odparowanej wody [%] w czasie dla próbek ceglanych poddanych w różnym stopniu hydrofobizacji, na podstawie [4]
 Fig. 6. Diagram showing amount of evaporated water [%] over time for brick samples subjected to different degrees of hydrophobization, based on [4]



Ryc. 5. Badania właściwości spoin łączących formatowane kostki granitowe
 Fig. 5. Testing of properties of joints between formatted granite sets



Ryc. 7. Złóża trassu w Brohtal (Niemcy) [14]
 Fig. 7. Trass deposits in Brohtal (Germany) [14]

- wykonanie spoin o szerokości 3 cm między kostkami granitowymi i oznaczenie wytrzymałości na ścinanie takiej spoiny,
- oznaczenie mrozoodporności modeli spoin przez zamrażanie w temperaturze -20°C i odmrażanie w temperaturze 20°C , poddając próbki 50 cyklom,
- oznaczenie czasu przydatności do stosowania (czasu „życia”) poszczególnych kompozycji.

Zaprawa cementowa – zaprawa 1 – była traktowana jako zaprawa porównawcza. Zaprawy żywiczne 2 i 3 miały zbyt małą zwilżalność w stosunku do granitu, okazały się również nieodporne na mróz. Gotową zaprawę epoksydową (zaprawa 3) zmodyfikowano dodatkiem żywicy Epidian 5 z utwardzaczem Z-1 w celu poprawienia jej właściwości. Wzbogacenie mieszanki dodatkową ilością żywicy w ilości 5% masy zaprawy znacznie podwyższyło wytrzymałości na zginanie i na ściskanie oraz zapewniło zaprawie mrozoodporność. Znacznie też poprawiło zwilżalność kamienia. Wyniki tych oznaczeń zawarto w tabeli 3. Zaprawa 5 na żywicy epoksydowej miała bardzo dobrą zwilżalność granitu, dobre właściwości mechaniczne i mrozoodporność, jednak jej wygląd (barwa, tekstura) bardzo odbiegał od wyglądu tradycyjnej zaprawy historycznej użytej w przeszłości. Nie było takich zastrzeżeń co do wyglądu zaprawy 6, przypominała ona barwą i fakturą zaprawę historyczną.

Po obserwacjach poczynionych na zaprawach 2, 3 i 4 zdecydowano się na opracowanie receptur zapraw na bazie krajowych składników. W zaproponowanych recepturach spoiwem była żywica epoksydowa Epidian, utwardzana utwardzaczem Z-1 lub utwardzaczem PAC, wypełniaczem był zaś piasek kwarcowy o uziarnieniu 0/2 mm, mączka kwarcowa oraz cement portlandzki, stanowiący jednocześnie drobnoziarnisty wypełniacz oraz składnik nadający mieszance szarą barwę, zbliżoną do barwy zaprawy historycznej. Składy tych zapraw podano w tabeli 2.

Tab. 2. Składy zapraw opracowywanych w trakcie badań
Tab. 2. Mortar compositions developed in course of tests

Zaprawa Mortar	Piasek Sand [g]	Mączka kwarcowa Quartz dust [g]	Cement Cement [g]	Epidian 5 Epidian 5 [g]	Utwardzacz Z-1 Curing agent [g]	Utwardzacz PAC Curing agent PAC [g]
7	1000	200	50	250	30	–
8	1000	200	50	150	–	150

Wyniki badań wytrzymałościowych na zginanie, na ściskanie oraz mrozoodporności zapraw przedstawiono w tabeli 3.

Wybrane zaprawy zostały użyte do wykonania spoin między kostkami granitowymi. Przyjęto szerokość spoin równą 3 cm, co odzwierciedlało historyczne warunki wykonania spoin w obiekcie. Spoiny te poddano badaniu wytrzymałościowemu na ścinanie oraz badaniom mrozoodporności, poddając je 50 cyklom zamrażania i odmrażania jak dla próbek zapraw. Wyniki badań zestawiono w tabeli 4.

Zawarte w tabeli 3 wyniki badań wykazują, że zarówno właściwości mechaniczne, jak i mrozoodporność zależą od zawartości żywicy w mieszance. Gotowe zaprawy na żywicy poliuretanowej Harz PU 94 BM (zaprawa

- making 3 cm wide joints between granite setts and determination of the shear strength of such a joint,
- determination of the frost-resistance of the joint models through freezing at a temperature of -20°C and unfreezing at a temperature of 20°C for 50 cycles,
- determination of the expiry date (lifetime) of the particular compositions.

The cement mortar (mortar 1) was used as the reference. In comparison with granite, resin mortars 2 and 3 were characterized by too low wettability and they were also found to be not frost-resistant. The ready-made mortar (mortar 3) was modified with an addition of Epidian 5 resin with curing agent Z-1 in order to improve its properties. The enrichment of the mixture with the resin addition in the amount of 5% of the mortar mass considerably increased the mortar's bending strength and compressive strength and made it frost-resistant.

After observations made for mortars 2, 3 and 4 it was decided to develop mortar compositions based on domestic components. The binder in the compositions was epoxy resin Epidian cured with agent Z-1 or agent PAC while quartz sand with a grading of 0/2 mm, quartz dust and Portland cement (performing the role of both a fine-grained filler and a component endowing the mixture with a grey colour similar to that of the historic mortar) constituted the filler. The compositions of the mortars are shown in table 2.

The results of the bending tests, the compression tests and the frost-resistance tests for the mortars are shown in table 3.

The selected mortars were used to make joints between granite setts. The joint width of 3 cm was adopted, which was consistent with the historic conditions in which the joints in the building structure had been made. The joints made were subjected to shear strength tests and frost-resistance tests (50 freezing-unfreezing cycles similarly as for the mortar specimens). The obtained results are shown in table 4.

The data presented in table 3 indicate that both mechanical properties and frost-resistance depend on the resin content in the mixture. The ready-made mortars based on polyurethane resin Harz PU 94 BM (mortar 2)

wa 2) oraz na żywicy epoksydowej GI 194 DICHT (zaprawa 3) były zbyt porowate z powodu małej zawartości żywicy, przez co nie wykazują adekwatnej mrozoodporności oraz miały słabą przyczepność do kamienia. Dodatek żywicy Epidian 5 znacznie poprawił właściwości zaprawy 3. Zaprawy epoksydowe GI 166TW – zaprawa 5 oraz GI 165 – zaprawa 6 wykazały natomiast bardzo dobre właściwości mechaniczne oraz mrozoodporność, jednak wygląd zaprawy GI 166TW bardzo odbiega od wyglądu tradycyjnej zaprawy historycznej.

Zaprawa 7 na żywicy Epidian 5, utwardzana utwardzaczem Z-1 ma mniejszą wytrzymałość na zginanie niż zaprawa 8 – utwardzana utwardzaczem PAC. Takie zachowanie mieszanek żywicznych z tymi utwardzaczami było zgodne z danymi literaturowymi. Zaprawa 8 miała wyższą przyczepność do granitu, wyrażoną przez wytrzymałość na ścinanie spoiny, jednak mrozoodporność połączenia „zaprawa – granit” była mniejsza. Zaprawa 7 miała gorszą przyczepność do granitu natomiast mrozoodporność jej połączenia z granitem była wyższa. Wytrzymałość na ścinanie połączeń wykonanych z zapraw

and on epoxy resin GI 194 DICHT (mortar 3) were too porous because of the low resin content whereby they showed inadequate frost-resistance and poor adhesion to stone. The addition of Epidian 5 resin considerably improved the properties of mortar 3. Epoxy resin mortars GI 166TW (mortar 5) and GI 165 (mortar 6) showed very good mechanical properties and high frost-resistance, but the appearance of mortar GI 166TW differed much from that of the traditional historic mortar.

Mortar 7 based on Epidian 5 resin, cured with agent Z-1, has a lower bending strength than mortar 8 cured with agent PAC. This behaviour of the resin mixtures with the above curing agents was consistent with the literature reports. Mortar 8 was characterized by better adhesion to granite, expressed by the shear strength of the joint, but the frost-resistance of the mortar-granite bond was worse. Mortar 7 was characterized by poorer adhesion to granite, but the frost-resistance of its bond to granite was higher. The shear resistance of the joints made from mortars 5, 6, 7 and 8 after the frost-resistance test was found to be similar.

Tab. 3. Właściwości mechaniczne i mrozoodporność badanych zapraw
Tab. 3. Mechanical properties and frost-resistance of tested mortars

Zaprawa	Wytrzymałość na zginanie	Wytrzymałość na ściskanie	Mrozoodporność	Uwagi
<i>Mortar</i>	<i>Bending strength</i>	<i>Compressive strength</i>	<i>Frost-resistance</i>	<i>Notes</i>
	[MPa]	[MPa]	$R_{c\text{ mroz}} / R_{c\text{ świadki}}$ [%]	
1	3,4	12,1	nie badano / <i>not tested</i>	–
2	6,1	19,5	zniszczenie po 7 cyklach <i>damage after 7 cycles</i>	Zaprawa bardzo sypka, mała zwilżalność granitu <i>very loose mortar, low wettability of granite</i>
3	15,4	30,6	51,6	Zaprawa dość sucha, mała zwilżalność granitu <i>quite dry mortar, low wettability of granite</i>
4	34,0	77,0	98,7	Optymalna lepkość zaprawy, bez wydzielania się żywicy, dobra zwilżalność granitu <i>optimum viscosity of mortar, no resin separation, good wettability of granite</i>
5	37,0	65,1	89,4	Optymalna lepkość zaprawy, dobra zwilżalność kamienia, barwa beżowa <i>optimum viscosity of mortar, good wettability of stone, beige colour</i>
6	35,2	61,9	112,4	Optymalna lepkość zaprawy, dobra zwilżalność kamienia, barwa szara <i>optimum viscosity of mortar, good wettability of stone, grey colour</i>
7	16,1	76,1	101,1	Optymalna lepkość zaprawy, dobra zwilżalność kamienia, barwa szara <i>optimum viscosity of mortar, good wettability of stone, grey colour</i>
8	35,6	76,4	102,8	Optymalna lepkość zaprawy, dobra zwilżalność kamienia, barwa szara <i>optimum viscosity of mortar, good wettability of stone, grey colour</i>

Tab. 4. Wytrzymałość na ścinanie i mrozoodporność budowanych spoin
 Tab. 4. Compressive strength and frost-resistance of joints made

Zaprawa	Wytrzymałość na ścinanie	Uwagi	Wytrzymałość na ścinanie po mrożeniu	Mrozoodporność	Uwagi
<i>Mortar</i>	<i>Shear strength</i> [MPa]	<i>Notes</i>	<i>Shear strength after freezing</i> [MPa]	$R_{c\text{ mroz}}/R_{c\text{ Świadki}}$ <i>Frost-resistance</i> $R_{c\text{ frost}}/R_{c\text{ ref}}$ [%]	<i>Notes</i>
1	0.2	Odspojenie granicy spoina-granit podczas badania <i>de-bonding at joint/granite interface during test</i>	–		
2	–		–	brak / NA	Po 5 cyklach odspojenie zaprawy od granitu <i>after 5 cycles mortar de-bonded from granite</i>
3	1.8	Odspojenie na granicy spoina-granit podczas badania <i>de-bonding at joint/granite interface during test</i>	–	brak / NA	Po 10 cyklach odspojenie zapraw od granitu <i>after 10 cycles mortar de-bonded from granite</i>
5	2.3	Zniszczenie w warstwie granitu podczas badania <i>failure in granite and mortar layer during test</i>	1.8	78.3	Zniszczenie na granicy zaprawy i granitu podczas badania po mrożeniu <i>failure at mortar/granite interface during test after freezing</i>
6	4.0	Zniszczenie w warstwie granitu i zaprawy podczas badania <i>failure in granite and mortar layer during test</i>	1.5	37.5	Zniszczenie na granicy zaprawy i granitu podczas badania po mrożeniu <i>failure at mortar/granite interface during test after freezing</i>
7	2.5	Zniszczenie w warstwie granitu i zaprawy podczas badania <i>failure in granite and mortar layer during test</i>	1.6	64.4	Zniszczenie w warstwie granitu i zaprawy podczas badania po mrożeniu <i>failure in granite and mortar layer during test after freezing</i>
8	5.0	Zniszczenie w warstwie granitu i zaprawy podczas badania <i>failure in granite and mortar layer during test</i>	1.6	32.7	Zniszczenie w warstwie granitu i zaprawy podczas badania po mrożeniu <i>failure in granite and mortar layer during test after freezing</i>

5, 6, 7 i 8 po zakończeniu badania mrozoodporności okazała się zbliżona.

Wyniki badań potwierdziły zasadność stosowania dodatków żywicy epoksydowej do zapraw celem poprawy ich parametrów wytrzymałościowych oraz odporności na niekorzystne działanie środowiska zewnętrznego.

Podobne rozwiązania, polegające na zastosowaniu polimerozapraw na spoiny murów, zastosowano podczas prac konserwatorskich ruin zamku Lenno we Włenu [5]. Raz jeszcze należy podkreślić wymaganą wyjątkową ostrożność w stosowaniu zapraw z dodatkiem żywic syntetycznych do stabilizacji koron murów obiektów pozostających w ruinie (wspomniano o tym wcześniej).

Ze względów technicznych (trwałość) jest to niewątpliwie korzystne, jednak ze względów doktrynalnych, konserwatorskich (działania odwracalne) i estetycznych należy opisać wyżej rozwiązania stosować wyłącznie w przypadkach, kiedy inne, tradycyjne metody zawodzą. Dodatkowo należy rozważyć możliwość „ukrycia” spoin łączących, wytwarzanych z użyciem zapraw na bazie żywic syntetycznych, w objętości muru wykonując równocześnie zewnętrzną estetyzującą spoinę przy użyciu materiałów zbliżonych do materiału

The test results have confirmed the validity of the use of epoxy resin additions to mortars, aimed at improving their strength parameters and resistance to the adverse action of the environment.

Similar solutions, consisting in the use of polymer mortars for masonry joints, were used in the conservation of the Lenno Castle ruins in Wleń [5]. It should be stressed again that one should take exceptional care when using mortars with synthetic resin additions to stabilize the crest of the walls of building structures remaining in ruin.

For technical reasons (durability) it is undoubtedly advantageous, but for doctrinal, conservation (reversible measures) and aesthetic reasons the solutions proposed above should be used only in cases when other, traditional methods are unsuccessful. Moreover, one should consider “hiding” the joints made using mortars based on synthetic resins, by making an outer aestheticizing joint using materials (lime mortars, puzzolan mortars, trass mortars, etc.) similar to the material of the historic joints.

If it is necessary to ensure the reversibility of the conservation treatment involving the use of synthetic resin-

spoin historycznych (zaprawy wapienne, pucolanowe, trasowe etc.).

W przypadku konieczności zachowania odwracalności zabiegów konserwatorskich z użyciem mieszanin na bazie żywic syntetycznych należy przywołać możliwość wprowadzenia do przekroju podwyższonej temperatury, 60–80°C.

Jednym z koniecznych do rozważenia sposobów ochronny zarówno koron murów pozostających w ruinie, jak i całej substancji muru jest strukturalne wzmocnienie i/lub hydrofobizacja substancji konserwowanej z użyciem organicznych związków krzemu.

Z uwagi na fakt, iż związki krzemu stanowią składniki wielu naturalnie występujących skał, w toku badań nad możliwością strukturalnego wzmocnienia kamienia pojawiła się koncepcja ich zastosowania. Początkowe badania i realizacje ukierunkowano na zastosowanie nieorganicznych związków krzemu (alkaliczne krzemiany) [7], celem wzmocnienia kamienia i zapewnienia odporności na niszczące działanie wilgoci. Wraz z upływem czasu zaprzestano tego rodzaju praktyk z uwagi na fakt, iż w procesie koagulacji krzemianów, oprócz pożądanego żelu krzemianowego, który oddając wodę uzupełnia strukturę kamienia, powstają sole łatwo rozpuszczalne w wodzie. Są to najczęściej sole kwasu węglowego i siarkawego (np.: Na_2SO_3 , Na_2CO_3) mające destrukcyjny wpływ na strukturę elementu murowego. Tlenki siarki i węgla biorą udział w reakcji, będąc składnikiem bądź zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego [7].

Z biegiem czasu uwaga zaczęła koncentrować się wokół związków krzemooorganicznych, m.in. tetraetoksylanu, produktem ubocznym hydrolizy którego (oprócz pożądanego krzemionki) jest alkohol etylowy nie powodujący wykwitów i uszkodzeń struktury porowatej. W [7] zaproponowano podział preparatów na bazie związków krzemooorganicznych z uwagi na przeznaczenie w procesie strukturalnego wzmocnienia kamieni – tab. 5.

Preparaty na bazie wyżej opisanych związków mogą być aplikowane powierzchniowo lub w głąb przekroju murowego (najczęściej 3–8 cm). Aplikacja powierzchniowo

based mixtures, one should provide for the possibility of introducing elevated temperature (60–80°C) into the cross section.

One of the ways of protecting both the crest of masonry walls remaining in ruin and the whole masonry substance can be the structural upgrading and/or hydrophobization of the substance being conserved by means organic silicone compounds.

Considering the fact that silicon compounds are present in many naturally occurring rocks, the idea of using them emerged in the course of the studies on the structural upgrading of stone masonry. The initial research and implementations were focused on the use of inorganic silicon compounds (alkaline silicates) for the strengthening of stone masonry and ensuring its resistance to the destructive action of moisture. But this was later discontinued due to the fact that as silicates coagulate, besides the desirable silica gel (which when giving up water fills in the missing parts in the stone masonry structure) also salts readily soluble in water form. These are usually carbonic acid salts and sulphurous acid salts (e.g. Na_2SO_3 , Na_2CO_3) having a destructive effect on the structure of masonry walls. Sulphur and carbon oxides, being a component or an atmospheric air pollutant, take part in this reaction [7].

Then our attention began to concentrate on organosilicone compounds, such as tetraethoxysilane, the by-product (besides the desirable silica) of the hydrolysis of which is ethyl alcohol which does not cause efflorescences or damage to the pore structure. In [7] a classification of preparations based on organosilicone compounds, depending on their intended use in the structural upgrading of stone masonry structure, was proposed (table 5).

The preparations based on the above compounds can be applied to the surface of masonry or into it (typically 3–8 cm down). Surface application can be effected through mechanical application or spraying. In order to ensure the effective penetration of the preparations into the cross section one must use gravitational injection,

Tab. 5. Związki krzemooorganiczne wchodzące skład preparatów o określonym działaniu [7]
Tab. 5. Organosilicone compounds in preparations with specific intended effect [7]

	preparaty o działaniu wzmocniającym <i>preparations having strengthening effect</i>	preparaty o działaniu wzmocniającym i hydrofobizującym <i>preparations having strengthening and hydrophobizing effect</i>	preparaty o działaniu hydrofobizującym <i>preparations having hydrophobizing effect</i>
Związki wchodzące w skład środków do strukturalnego wzmocnienia i hydrofobizacji kamieni	tetraetoksylan i jego oligomery	Metylotrietoksylan, traetoksylan i ich oligomery – roztwory żywic epoksydowych	Roztwory alkilosilanów i alkilosiloksanów i ich oligomerów – roztwory żywic alkilopolisiloksanowych
<i>Compounds in agents for structural upgrading and hydrophobization of stone masonry</i>	<i>tetraethoxysilane and its oligomers</i>	<i>methyltriethoxysilane, tetraethoxysilane, and their oligomers</i> – epoxy resin solutions	<i>alkylsilanes and alkylsiloxane solutions and their oligomers</i> – alkylpolysiloxane resin solutions

wa może się odbywać poprzez nanoszenie mechaniczne lub natrysk. Aby zapewnić skuteczne przeniknięcie preparatów do wnętrza przekroju, konieczne jest zastosowanie iniekcji: grawitacyjnej, próżniowej (VVG) lub niskociśnieniowej. Iniekcje polegają na wypełnieniu pustek i zarysowań w strukturze muru na głębokość 3–8 cm z użyciem systemu przewodów i pompy próżniowej. Przewody wprowadzane są w strukturę muru poprzez sieć otworów średnicy około 25 mm. Z uwagi na wartość historyczną obiektu zaleca się wprowadzanie przewodów przez spoiny murowe.

Często wykorzystywanym rozwiązaniem ochrony koron murów są hydrofobizacje powierzchni uniemożliwiające lub ograniczające migrację wody opadowej w głąb przekroju murowego. Dostępne na rynku preparaty powstają najczęściej na bazie takich krzemooorganicznych związków, jak alkilosilany, alkilosiloksany lub żywice alkilopolisiloksanowe. Mankamentem jest tu konieczność okresowego powtarzania zabiegu hydrofobizacji.

Przy nadawaniu właściwości hydrofobowych powierzchniom zabytkowych konstrukcji murowych powstaje problem związany z dyfuzją pary wodnej związanej z wilgocią zalegającą w strukturze muru lub podciąganej kapilarnie z poziomu terenu. Należy pamiętać, że powłoka zabezpieczająca przed penetracją wody opadowej w głąb struktury chronionej w pewnym stopniu pogarsza jej dyfuzyjność. Jest to jednak zależne od grubości powłoki oraz zastosowanej substancji. Przykładem mogą tu być żywice metylopolisiloksanowe, które z uwagi na swoją budowę molekularną zapewniają ochronę przed penetracją wody przy jednoczesnym umożliwieniu przenikania cząsteczek pary wodnej, które są mniejsze niż odległości między grupami alkilowymi tworzącymi strukturę związku. [7]

Poniżej zaprezentowano wyniki badań przedstawione w [4], obrazujące prędkość wysychania wilgotnych próbek cegły poddanych powierzchniowej hydrofobizacji. Warstwy hydrofobizujące nanoszono za pomocą pędzla (próbka nr 1 – świadkowa, próbka nr 2 – jedna warstwa hydrofobizująca, próbka nr 3 – dwie warstwy, próbka nr 4 – trzy warstwy).

Poza metodami chemicznymi dążącymi do strukturalnego wzmocnienia lub hydrofobizacji ruin murów historycznych należy wspomnieć o technologiach zabezpieczenia korony muru przed penetracją wilgoci z użyciem nowo projektowanych warstw ochronnych. Podstawowym problemem pozostaje także zabezpieczenie korony muru, aby zgodnie z doktryną konserwatorską zapewnić jego odwracalność i nie odbierać zabytkowi wartości autentyczności. Mur powinien zachować swoją plastyczność oraz charakterystyczne dla niego rozwiązania historyczne w zakresie materiałowym i technicznym.

Najbardziej zachowawcza w tym zakresie wydaje się być tzw. „angielska szkoła konserwacji ruin”. Dotyczy ona głównie murów kamiennych. Utrwalanie korony muru odbywa się tutaj przy wprowadzeniu minimalnej ilości nowych elementów i nie zakłada aplikacji izolacji poziomej. Efekt ochronny uzyskuje się poprzez przemurowanie kilku ostatnich warstw na odpowiedniej zaprawie (bezcementowej, zachowującej odpowiednią elastyczność, ewentualnie hydrofobizowanej). Warstwy przemurowane powinny zostać wykonane w identycznym cha-

vacuum void grouting (VVG) or low-pressure injection. The injections consist in filling voids and cracks in the structure of masonry to a depth of 3–8 cm, using a system of pipes and a vacuum pump. The pipes are inserted into the structure of masonry through a network of holes each approximately 25 mm in diameter. Having in mind the historic value of the building structure, it is recommended to insert the pipes through the joints in the masonry.

A solution which is frequently used to protect the crests of masonry walls consists in the hydrophobization of their surface, preventing or limiting the migration of rainfall water into the masonry cross section. The preparations available on the market are usually based on such organosilicone compounds as alkylsilanes, alkylsiloxanes or alkylpolysiloxane resins. The drawback here is the necessity of repeating the hydrophobization treatment periodically.

When endowing the surfaces of historic masonry structures with hydrophobic properties one must deal with the diffusion of water vapour connected with moisture accumulated in the structure of masonry or rising by capillary action from the ground. One should bear in mind that the coating preventing rainfall water from penetrating into the protected structure, to a certain degree lowers the diffusivity of the latter. This depends, however, on the thickness of the coating and the substance used. An example here can be methylpolysiloxane resins, which, owing to their molecular structure ensure protection against the penetration of water and at the same time allow the penetration of water vapour particles which are smaller than the distances between the alkyl groups forming the structure of the compound [7].

The test results reported in [4], illustrating the rate of drying for wet brick samples subjected to surface hydrophobization, are presented below. The hydrophobizing layers were applied using a brush. Sample no. 1 is the reference sample, sample no. 2 – one hydrophobizing layer, sample no. 3 – two layers and sample no. 4 – three layers.

Besides the chemical methods aimed at the structural upgrading or hydrophobization of the ruins of historic masonry walls one should mention the technologies used for protecting the crest of the masonry wall against moisture penetration by means of novel protective coatings. The main problem is still the reversible (in compliance with the conservation doctrine) protection of the masonry wall crest, which does not deprive the historic building structure of its authenticity. The masonry wall should retain its plasticity and its characteristic historic material and technical features.

The English school of the conservation of ruins (mainly of stone masonry walls) seems to be the most conservative in this respect. The fixing of the wall crest consists here in the introduction of a minimum number of new components and no horizontal damp-proof course. The protective effect is obtained by re-laying a few of the top courses on a suitable (noncementitious, hydrophobized if necessary) mortar which retains proper elasticity. The re-laid courses should have the same character as the historic part and the border between

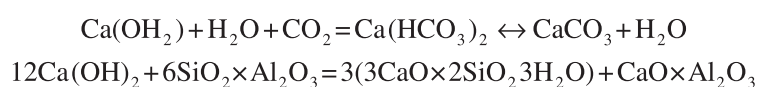
rakterze jak część historyczna, przy jednoczesnym zaznaczeniu w formie spoiny lub elementów w niej ukrytych (np. blachy ołowianej) granicy między nową a historyczną częścią konstrukcji [10].

Malowniczą koronę o wiele trudniej jest uzyskać w przypadku murów ceglanych. W celu zabezpieczenia przed wodą przenikającą do wnętrza w obiektach tych wprowadza się czasami izolację poziomą. Nad nią nadmurowuje się do 5 warstw cegieł. Są one przeznaczone z góry do okresowej wymiany. Również w tym przypadku styk nowych i starych warstw powinien być zaznaczony. Należy pamiętać o prawidłowym dopasowaniu kolorystycznym cegieł w murach ceglanych oraz o odpowiednim doborze ich przekrojów do historycznych warstw. Problem uczynienia w murach ceglanych niejako rozwiązuje się sam, gdyż cegły maszynowe stosowane do nadmurowań patynują się powoli i odmiennie, co wyraźnie ukazuje granicę nadbudowań. Należy podkreślić, iż zakres domurowań niezasadnych co do wymagań technicznych powinien być ograniczony do minimum [10].

Innym sposobem ochrony korony murów jest zabezpieczenie poprzez naniesienie warstwy zaprawy pucolanej lub trassowej. Wykorzystanie zapraw cementowych i betonu ze względów chemicznych, wytrzymałościowych i konserwatorskich, zwłaszcza w przekrojach nieosłoniętych w sposób trwały jest niezalecane. Materiały te cechują się małą odkształcalnością oraz znaczną różnicą w module Younga w stosunku do pozostałej części muru. Ponadto zwięźczenie z użyciem zapraw cementowych i betonu jest trudne do usunięcia bez uszkodzenia materii zabytkowej, co stoi w sprzeczności z doktryną konserwatorską.

Trass jest to tuf wulkaniczny o składzie chemicznym zbliżonym do pucolany. Jest on drobno zmieloną martwicą wulkaniczną. Materiał ten jest stosowany od ponad 2000 lat, co czyni go jednym z najstarszych dodatków hydraulicznych do wapna [13].

Zastosowanie trassu polepsza właściwości urabialności zapraw budowlanych. Zwiększa ich odporność na niepożądane reakcje chemiczne oraz zmniejsza przepływ wody w strukturach zaprawy. Trass składa się z kwasu krzemowego SiO_2 oraz tlenku glinu Al_2O_3 . Krzemionka zawarta w trassie nadaje zaprawie wiele korzystnych właściwości, między innymi dzięki niej zaprawa zyskuje cechy hydrauliczne. Poza tym stosowanie zapraw zawierających trass zmniejsza ryzyko wystąpienia wylugowań wapiennych. Występują one w postaci zabeleń spowodowanych transportem przez wodę zarobową wodorotlenku wapniowego na lico muru w czasie wiązania zaprawy. Wolne wapno, czyli główna przyczyna wylugowań jest wiązane podczas twardnienia zaprawy trassowej w krystaliczny, trwały i odporny na kwaśne środowisko krzemian, obrazują to przedstawione poniżej reakcje chemiczne, [14]:



Zaprawy trassowe charakteryzują się minimalnym skurczem (posiadają prawie pięciokrotnie mniejszy skurcz niż zaprawy cementowo-wapienne), odpornością na sole, opty-

malizacją i trwałością. Nowa część i część historyczna powinny być oznaczone w formie spoiny lub elementów (np. arkusze ołowiane) [10] ukrytych w murze.

A picturesque crest is much more difficult to obtain in the case of brick walls. Sometimes horizontal damp-proof course is introduced into such structures in order to protect them against water penetrating into them. Up to five courses of brick (which are to be periodically replaced) are laid above the horizontal dpc. Also in this case the interface between the new courses and the old part should be marked. One should also remember to match the bricks colourwise and to match their cross sections to that of the historic courses. The demarcation problem here solves itself since the machine-made bricks in the added part patinate slowly and differently whereby the boundary between the two parts is clearly distinguishable. It should be stressed that the extent of technically unjustified additions should be kept to minimum [10].

Another way of protecting the crest of masonry walls is by putting a coat of puzzolan or trass on it. For chemical, strength and conservation reasons the use of cement mortars and concrete is not recommended (particularly in the case of cross sections which are not permanently covered). These materials are characterized by low deformation capacity and their Young modulus differs considerably from that of the masonry wall itself. Moreover, the cement mortar or concrete topping on a masonry wall is difficult to remove without damaging the historic substance, which is at odds with the conservation doctrine.

Trass is volcanic tuff whose chemical composition is similar to that of puzzolan. It is a fine-ground volcanic sinter. This material has been used for over 2000 years, which makes it one of the oldest hydraulic additions to lime [13].

Trass improves the workability of masonry mortars, increases their resistance to undesirable chemical reactions and reduces the flow of water in the structure of mortar. Trass consists of silicic acid SiO_2 and aluminium oxide Al_2O_3 . The silica contained in trass endows mortar with many beneficial properties, e.g. hydraulic properties. Moreover, the use of mortars which contain trass reduces the risk of the occurrence of calcareous lixiviations (in the form of white spots). The latter are caused by the transport of calcium hydroxide by the make-up water to the face of the masonry wall during mortar setting. Free calcium, i.e. the main cause of the lixiviations, in the course of the setting of trass mortar is fixed into stable crystalline silicate resistant to the acid environment. This is illustrated by the chemical reactions presented below [14].

Trass mortars are characterized by minimal shrinkage (their shrinkage is nearly five times smaller than that of cement-lime mortars), resistance to salts, optimal

malną wytrzymałością i nasiąkliwością. Szczelność i odporność na działanie wysokiej temperatury czynią je użytecznymi w zabezpieczeniach koron zabytkowych murów narażonych na stały kontakt z wodą lub zalegającym śniegiem. Cechują się ponadto właściwościami solochłonnymi.

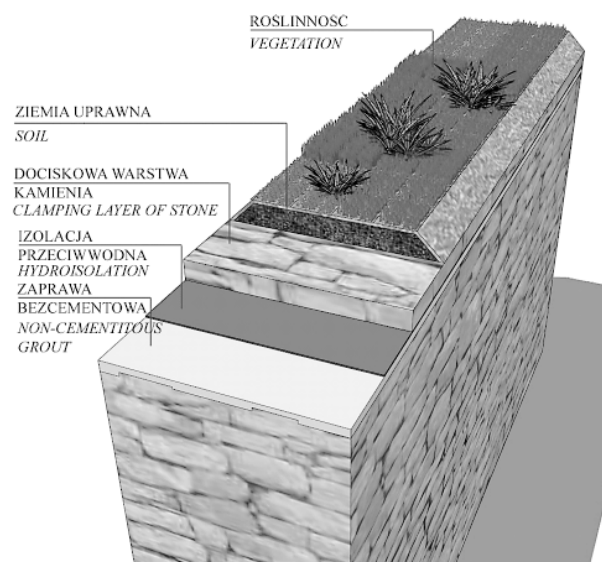
Zaprawy z dodatkiem trassu znajdują szczególne zastosowanie w murach z kamieni naturalnych. Przeciwdziałają one powstawaniu przebarwień na wrażliwych kamieniach, jak np. marmury i granity.

Technologią, która znalazła szerokie zastosowanie w stabilizacji koron murów zabytkowych na terenie Polski, jest

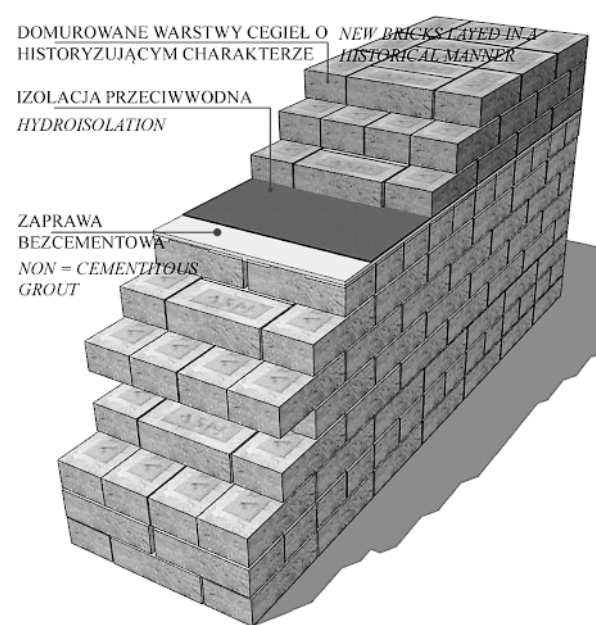
strength and absorbability. Tightness and resistance to high temperature makes them suitable for protecting the crests of historic masonry walls and masonry walls constantly exposed to water or long lying snow. Trass mortars also have salt-absorbing properties.

Mortars with a trass addition are especially suitable for walls made of natural stones. They prevent discolorations from appearing on sensitive stone, such as marble and granite.

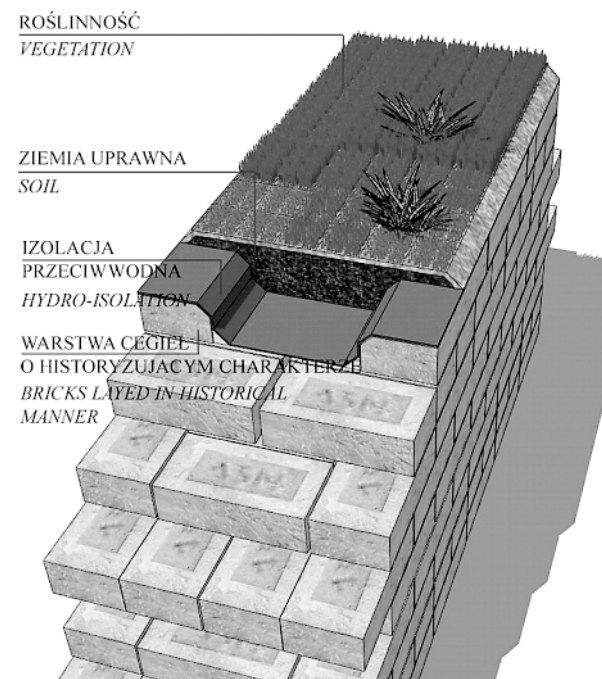
The technology which has found a widespread use in the stabilization of the crests of historic masonry walls



Ryc. 8. Schemat zabezpieczenia korony muru kamiennego z zastosowaniem metody T-B
Fig. 8. Scheme showing protection of crest of stone wall by means of T-B method



Ryc. 10. Przemurowanie korony muru połączone z aplikacją izolacji przeciwwodnej
Fig. 10. Re-laying of wall crest combined with application of hydroisolation



Ryc. 9. Schemat zabezpieczenia korony muru ceglanoego z zastosowaniem metody T-B
Fig. 9. Scheme showing protection of crest of brick wall by means of T-B method



Ryc. 11. Zabezpieczenie korony muru z zastosowaniem zaprawy pucolanowej lub trassowej
Fig. 11. Protection of wall crest by means of pozzolan or trass mortar

metoda technologiczno-biologiczna (metoda T-B) opisywana przez Przyłęckiego. Polega ona na zastosowaniu warstwy wegetacyjnej na podłożu z gleby i warstwy izolacji przeciwwodnej, niemożliwej do penetrowania przez korzenie. Rozwiązania różnią się nieznacznie w przypadku zastosowania metody dla murów ceglanych i kamiennych. Zabezpieczając korony murów kamiennych zaleca się zastosowanie warstwy dociskającej izolację przeciwwodną. Powierzchnię pod ułożenie hydroizolacji proponuje się wyrównać za pomocą zaprawy beczementowej – tworzy to spoinę świadcząca o rozwarstwieniu chronologicznym obiektu. Warstwa izolacyjna jest tutaj ułożona w jednej płaszczyźnie. Przy utrwaleniu zabezpieczenia muru ceglanoego możliwe jest takie wyprofilowanie korony z zastosowaniem kilku warstw cegły historyzującej, aby docisk hydroizolacji zapewniała ziemia uprawna. Istotne jest przy tym odpowiednie ułożenie warstwy izolacyjnej, tak aby uniknąć tworzenia się kątów prostych i ostrych jako miejsc narażonych na utratę szczelności.

Metodą pośrednią między podejściem angielskim i tworzeniem przestrzeni dla rozwoju roślinności jest przemurowanie ostatnich kilku warstw kamienia lub cegły z wprowadzeniem izolacji przeciwwodnej. Warstwy przemurowane przeznacza się do degradacji wraz z upływem czasu – do kolejnej interwencji. W celu podniesienia trwałości można zastosować hydrofobizację spoin.

Na rysunkach (ryc. 8–11) zaprezentowano w sposób schematyczny omawiane metody ochrony koron murów.

4. Podsumowanie

Ochrona i stabilizacja koron zabytkowych murów kamiennych i ceglanych stanowi zagadnienie niezwykle złożone, istotne z punktu widzenia zachowania dziedzictwa kulturowego w postaci ruin dzieł architektury i inżynierii. Korony murów są najbardziej narażone na niszczący wpływ środowiska, a niewłaściwe podejście do ich konserwacji prowadzić może to nieodwracalnego zniszczenia substancji historycznej. W pracy przedstawiono metody i technologie stosowane w procesie konserwacji i utrwalania koron murów kamiennych i ceglanych. Podkreślenia wymaga fakt, iż nie istnieje rozwiązanie uniwersalne, które można by zastosować w każdym z przypadków bez wyrządzania szkody chronionej materii. Decyzja o aplikacji konkretnej technologii powinna mieć zawsze charakter indywidualny i być poprzedzona kompleksowymi badaniami obiektu poddawanego konserwacji zarówno pod względem materiałowym i wytrzymałościowym, jak również architektoniczno-historycznym. Nie da się niczym zastąpić w tym delikatnym działaniu wiedzy i kultury konserwatora, architekta, inżyniera.

Wartością nadrzędną musi pozostawać autentyczność materii i przekazu historycznego, naturalność i plastyczność form, oraz estetyka.

Post Scriptum

Osobnym problemem jest utrwalanie koron murów obiektów pozostających w trwałej ruinie na terenach sejsmicznych. W ostatnich latach prowadzono szereg badań związanych z tym tematem, a szczególnie tragicznym

in Poland is the technological-biological (T-B) method described by Przyłęcki []. It consists in putting a layer of vegetation on a soil base and a hydro-insulation layer (impenetrable by roots). The solution is slightly different when applied to brick or stone walls. When protecting stone walls it is recommended to use a layer which presses down the hydro-insulation layer. It is proposed to level the surface on which the hydro-insulation is to be laid, using noncementitious mortar (whereby a joint indicating the chronological stratification of the masonry structure is created). The insulation layer is laid in one plane. When protecting the crest of a brick wall it is possible to shape the crest through the use of several courses of historicizing bricks in such a way that the soil will provide the required clamping of the hydro-insulation. It is important to lay the insulation membrane properly in order to avoid the formation of right and acute angles since such places are susceptible to leaktightness loss.

A method in-between the English approach and the creation of space for the growth of vegetation consists in the re-laying of several of the top courses of stones or bricks and introducing hydro-insulation. The re-laid courses are to assumed to degrade over time until the next intervention. In order to increase durability one can hydrophobize the joints.

The figures 8–11 show schematically the above methods of protecting the crests of masonry walls.

4. Conclusion

The protection and stabilization of historic stone and brick walls is a highly complicated problem, vital for the preservation of cultural (architectural and engineering) heritage in the form of ruins. The crests of masonry walls are most exposed to the destructive action of the environment and an improper approach to their conservation may lead to irreversible destruction of the historic substance. The paper has presented the methods and technologies used in the conservation and fixing of the crests of stone and brick walls. It should be noted that there is no single universal solution which could be applied in each case without causing damage to the fabric being protected. A decision on the application of a particular technology should always be case-specific and should be preceded by comprehensive investigations (covering material and strength tests and architectonic-historical studies) of the building structure to be subjected to conservation. In this delicate operation nothing can replace the knowledge and culture of the conservator, the architect and the engineer.

The authenticity of the historic fabric and tradition, the naturalness and plasticity of the forms, and the aesthetics must remain the overriding values.

Post Scriptum

A separate problem is the fixing of the wall crests in building structures being in permanent ruin in seismic areas. In recent years, especially after the recent earthquake which devastated the town of L'Aquila (Italy), sev-

wydarzeniem podkreślającym zasadność tej tematyki było niedawne trzęsienie ziemi, które dotknęło miasto L'Aquila we Włoszech. Rozwiązania idą tu w kierunku stosowania wzmocnień murów poprzez wkładki w przekrojach z użyciem siatek z włókien węglowych (CRCM), stalowych (SRG), cięgien stalowych UHTSS etc. Takie badania prowadzone są w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. W części im właśnie poświęcona była międzynarodowa konferencja naukowa REMO 2009 „Repair, conservation and strengthening of traditionally erected buildings and historic buildings”. Będzie to również jeden z głównych tematów światowej konferencji SAHC 2012 „Structural Analysis of Historic Constructions”, która odbędzie się w Hali Stulecia we Wrocławiu.

eral studies on this subject have been undertaken. The emerging solutions consist in reinforcing masonry walls with carbon fibre (CRCM) meshes, steel (SRG) meshes, steel (UHTSS) tendons, etc., inserted into the cross section. Such research is being conducted in the Institute of Building Engineering at Wrocław University of Technology. The international scientific conference REMO 2009 “Repair, conservation and strengthening of traditionally erected buildings and historic buildings” was in part devoted to this problem. This will also be one of the main topics at the world conference SAHC 2012 “Structural Analysis of Historic Constructions” to be held in the Centennial Hall in Wrocław.

Literatura

- [1] Allsopp D., Seal K.J., Gaylarde C.: *Introduction to Biodeterioration*. Cambridge University Press, 2004.
- [2] Ashurst J.: *Stability and survival. Conservation of ruins*. Oxford 2007.
- [3] Czub P., Boncza-Tomaszewski Z., Pęczek P., Pielichowski J.: *Chemia i technologia żywic epoksydowych*. WNT, Warszawa 2002.
- [4] Domański W., Kęsy-Lewandowska M., Łukasiewicz J.W.: *Badania nad konserwacją murów ceglanych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2004.
- [5] Jasieńko J., Engel L., Kondolewicz A.: *Problemy konstrukcyjno-konserwatorskie w stabilizacji i ekspozycji ruin obiektów kamiennych na przykładzie zamku „Lenno” we Włocławku*. XII Konferencja Naukowo-Techniczna REMO 2009.
- [6] Jasieńko J., Matkowski Z.: *Zasolenie i zawilgocenie murów ceglanych w obiektach zabytkowych – diagnostyka, metodyka badań, techniki rehabilitacji*. Wiadomości Konserwatorskie, 14/2003.
- [7] Łukasiewicz J.W.: *Badania i zastosowanie związków krzemooorganicznych w konserwacji zabytków kamiennych* (rozprawa habilitacyjna), Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2002.
- [8] Przyłęcki M., Jasieńko J., *Zabytki w trwałej ruinie*. Wrocław 1999.
- [9] Stramski Z.: *Korozja biologiczna kamiennych obiektów budowlanych*. Ochrona Środowiska, nr 1-2/1981.
- [10] Tajchman J.: *Konserwacja ruin historycznych. Uwagi o metodzie*. Ochrona Zabytków, nr 4/2005.
- [11] Trochonowicz M.: *Obiekty murowe w ruinie. Wpływ czynników degradujących na ich zachowanie. Trwała ruina II*, praca zbiorowa pod redakcją B. Szmygina. Warszawa 2010.
- [12] WTA Merkblatt 2-6-99 Ergänzungen zum Merkblatt 2-2-99 Sanierputzsysteme.
- [13] Materiały firmy „quick-mix”.
- [14] Materiały z konferencji Sanierungsforumtubag-Trass, Lipsk 18.10.2010.
- [15] Międzynarodowa Karta Konserwacji i Restauracji Zabytków i Miejsc Zabytkowych, 1964.

Streszczenie

W pracy przedstawiono przyczyny powstawania destrukcji oraz analizę metod utrwalania koron murów obiektów historycznych przeznaczonych do ekspozycji w formie trwałej ruiny. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom związanym ze strukturalnym wzmocnieniem kamiennych elementów murowych oraz chemicznej hydrofobizacji substancji historycznej. Szeroko omówiono badania materiałowe zapraw z domieszką żywic epoksydowych przeprowadzone w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej pod kątem ich zastosowania w konserwacji obiektów historycznych muzeum Gross-Rosen. Zaprezentowano również rozwiązania polegające na utrwaleniu koron ruin z zastosowaniem elementów nowo projektowanych, pozostających w zgodzie z doktryną konserwatorską.

Abstract

The paper describes the causes of damage to and presents methods of fixing the crests of walls in historic building structures designated to be exhibited in the form of permanent ruins. Special attention is devoted to the problems involved in the structural upgrading of stone walls and in the chemical hydrophobization of the historic substance. Material tests on mortars with an addition of epoxy resins, to be used in the conservation of historic building structures (e.g. the Gross-Rosen Museum), carried out in the Institute of Building Engineering at Wrocław University of Technology, are extensively discussed. Also wall crest fixing solutions involving the use of newly designed components (consistent with the conservation doctrine) are presented.