

Miloš Drdácý\*, Pavel Beran\*  
Zuzana Slížková\*, Irena Kučerová\*\*

## Man made hazards in conservation practice – case studies

## Ryzyko spowodowane przez człowieka w praktyce konserwacji – studia przypadków

### 1. Introduction

Conservation practice is on one side one of the human activities which are seeking for new products, technologies, techniques or approaches promising enhanced effects at safeguarding degraded historic materials and structures. On the other side, there is a significant lack of appropriately modern conservation theories supporting an application of really effective measures in some cases. The both characteristics bring about problems which are illustrated in this contribution by means of selected case studies.

### 2. Incompatibility of interventions

Interventions on architectural heritage aim at achievement of a high grade of durability of the structure, which may require consolidation of materials or structural members. Any interference with the structure and material should be compatible with the original structure and materials. This compatibility may be classified, for example, as physical, chemical, biological, architectural and social compatibility – all on the level of the material and/or the whole system.

In the field of roof structures, let us mention by way of example a method widely used in present-day restoration practice, viz the replacement of certain easily flammable roofing materials (shingles, thatch) with non-combustible materials (roofing tiles, sheet metal) placed on the original light-duty roof structures. This is a case of combined – struc-

### 1. Wprowadzenie

Praktyka konserwacji to z jednej strony taka sfera aktywności ludzkiej, w której szuka się nowych produktów, technologii, technik i podejść, dających nadzieję na poprawę wyników w dziedzinie chronienia zniszczonych historycznych materiałów i konstrukcji. Z drugiej strony widoczny jest brak odpowiednio nowoczesnych teorii konserwacji opartych na zastosowaniu naprawdę skutecznych środków w konkretnych przypadkach. Obie te cechy powodują problemy, które zostaną zilustrowane w tym artykule wybranymi studiami przypadków.

### 2. Niekompatybilność interwencji

Celem interwencji w budynkach historycznych jest osiągnięcie wysokiego stopnia trwałości konstrukcji, co może wymagać konsolidacji materiałów lub elementów konstrukcyjnych. Każda ingerencja w konstrukcję lub materiał musi być kompatybilna z oryginalną konstrukcją i materiałami. Tę kompatybilność można klasyfikować, np. dzieląc na fizyczną, chemiczną, biologiczną, architektoniczną i społeczną – zarówno na poziomie materiału, jak i całego systemu.

W dziedzinie konstrukcji dachowych można wspomnieć w tym kontekście przykład metody szeroko stosowanej w dzisiejszej praktyce renowacji: wymiany niektórych palnych materiałów dachowych (gontów, słomy) na materiały niepalne (dachówki, blachy) układane na pierwotnych konstrukcjach dachowych przeznaczonych do niewielkich

tural and aesthetic (architectural) – incompatibility, and should be avoided because usually end with either a failure or replacement of the original slender roof frame with a modern and a stronger one.

However, in the field of compatibility the focus is almost exclusively concentrated on materials and their chemical and physical characteristics. There were summarized rules for compatible design of mortars by several writers, e.g. recently J. Delgado-Rodrigues [1] or H. Sasse and R. Snethlage [2]. The problem is quite complicated and generally it is not possible to set up generally valid advice. Let us mention the problem of similarity of physical characteristics as they are typically required, i.e. the Young's modulus of elasticity and strength. In fact,

obciążeń. Jest to przykład podwójnej niekompatybilności – konstrukcyjnej i estetycznej (architektonicznej) – czego należy unikać, ponieważ z reguły skutkiem jest albo uszkodzenie albo wymiana pierwotnej ramy dachowej, o niewielkich przekrojach, na mocniejszą, nowoczesną.

Jednakże w przypadku kompatybilności właściwie cała uwaga koncentruje się na materiałach i ich cechach chemicznych i fizycznych. Niedawno kilku autorów podsumowało reguły kompatybilnego projektowania spoiw, np. J. Delgado-Rodrigues [1] czy też H. Sasse i R. Snethlage [2]. Problem jest dość skomplikowany i generalnie nie jest możliwe opracowanie ogólnie obowiązujących zaleceń. Można wspomnieć o problemie podobieństwa fizycznego,

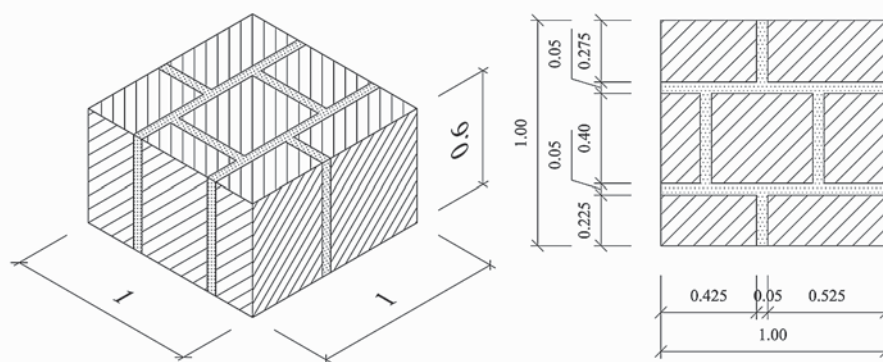
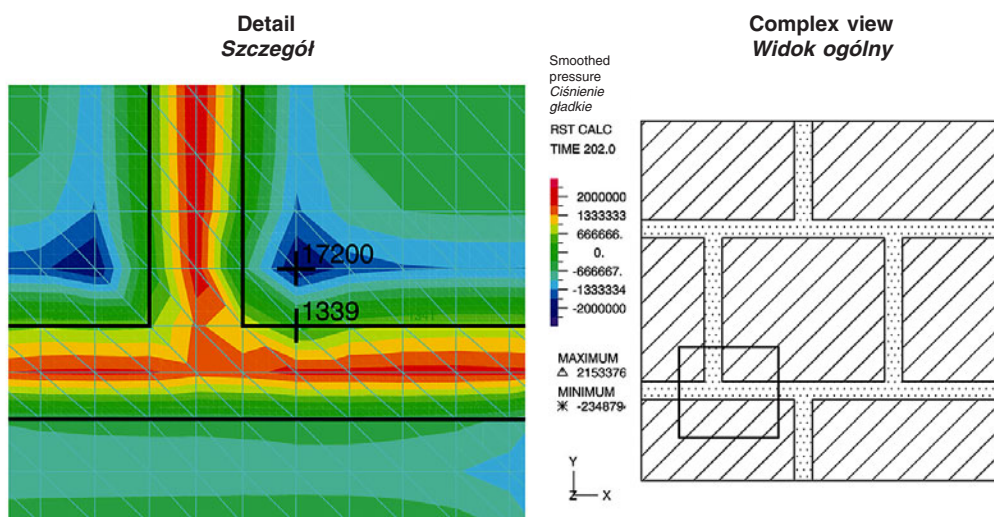


Fig. 1. 3-D and 2-D views of the masonry element. The joints filled with mortar are shown in the dashed area, the stone blocks are hatched – dimensions in metres

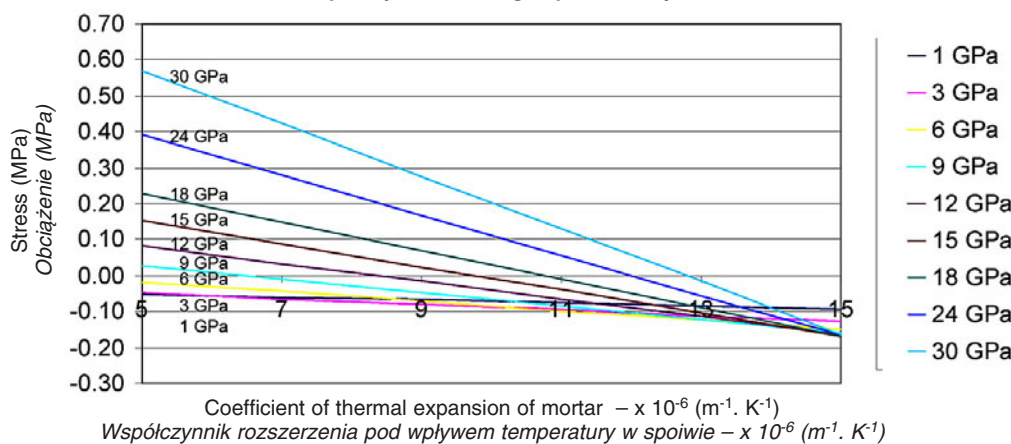
Rys. 1. Trój- i dwuwymiarowy obraz elementu murowanego. Łąca wypełnione spoiwem są zaznaczone obszarem wykropkowanym, bloki kamienne zaś zakreskowanym – wymiary podano w metrach

it is very difficult to measure the modulus of elasticity, namely in situ or on small size specimens which are mostly only available. More over, consolidation agents typically penetrate only into shallow depths of several millimetres or centimetres and they cause uneven change of modulus of elasticity along a depth profile. Such a gradient may cause deformation constraints and generate stress inside the bulk of material. The problem is worth to be assessed in the case of significant change of other material characteristics namely thermal and moisture dilation coefficients. Thermal and moisture dilation properties are usually not considered in the selection of new or repair joint mortars for stone masonry, though mortar and stone should ideally have the same thermal extension properties, [3]. In reality the modulus as well as the dilation coefficients of the both masonry components may differ significantly. In order to get more knowledge on this problem, the first two authors performed numerical experiments on stress states in stone ashlar masonry composed of stone and mortar of various physical characteristics subjected to thermal cyclic load-

które jest zwykle wymagane, np. o module Younga – współczynniku sprężystości. W istocie trudno jest zmierzyć współczynnik sprężystości na miejscu lub na małych próbkach, które są zwykle dostępne. W dodatku środkiem konsolidujące zwykle przenikają tylko na niewielką głębokość kilku milimetrów lub centymetrów i powodują nierównomierne zmiany we współczynniku sprężystości wzdłuż profilu. Taki gradient może stać się przyczyną ograniczenia odkształceń i powodować ciśnienie wewnątrz materiału. Problem wymaga oceny w przypadku znacznych zmian innych cech materiału, konkretnie współczynników rozszerzania pod wpływem temperatury i wilgoci. Właściwości rozszerzania się pod wpływem temperatury i wilgoci nie są zwykle uwzględniane przy wyborze nowych spoiw do spoin naprawczych w elementach murowanych, mimo że spoiwo i kamień powinny mieć idealne identyczne właściwości rozszerzania [3]. W rzeczywistości zarówno współczynnik, jak i zdolności rozszerzania obu komponentów muru mogą się znacznie różnić. Aby uzyskać dokładniejszą wiedzę o tym problemie, pierwsi dwaj autorzy wykonali serię eksperymentów związanych z ob-



Average stress – maximum in interface – dependence on Young modulus of mortar – node 1 339  
*Przeciętne obciążenie – maksymalne w miejscu przyłożenia – w zależności od współczynnika Younga spoiwa – węzeł 1 339*



Average stress – node 17 200 in stone – dependence on Young modulus of mortar  
*Przeciętne obciążenie – węzeł 17 200 w kamieniu – w zależności od współczynnika Younga spoiwa*

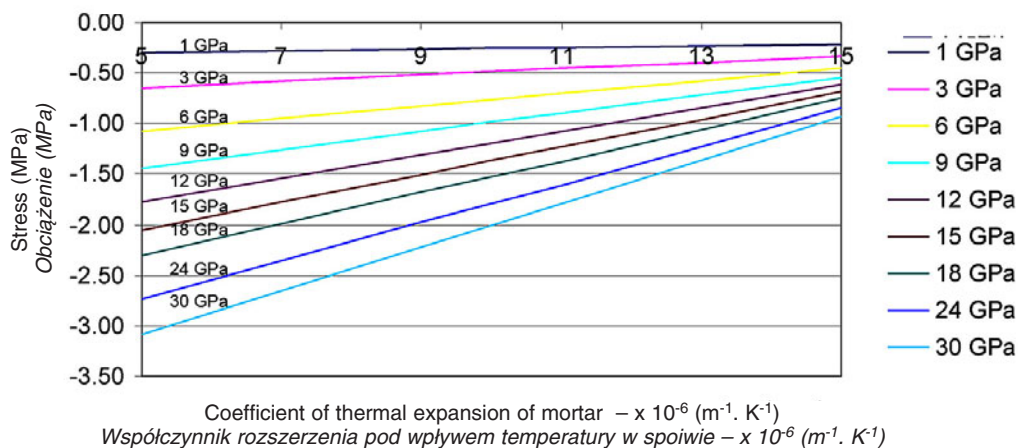


Fig. 2. a-above) Distribution of average stress and location of the node with maximum effective stress on the interface of the materials and in the stone – cooling; b-centre) The average stress, depending on the coefficient of thermal expansion of the mortar at the point where the effective stress on the interface of the materials is highest – cooling; c-below) The average stress at the point where the effective stress in the stone is highest – cooling

Ryc. 2. a-powyżej) Rozkład przeciętnego obciążenia i położenie węzła z maksymalnym efektywnym obciążeniem w miejscu przyłożenia materiału i w kamieniu – chłodzenie; b-środek) Przeciętne obciążenie, w zależności od współczynnika rozszerzenia pod wpływem temperatury w miejscu, gdzie efektywne obciążenie w miejscu przyłożenia jest najwyższe – chłodzenie; c-poniżej) Przeciętne obciążenie w miejscu, gdzie efektywne obciążenie kamienia jest najwyższe – chłodzenie

ing. A detailed thermo-mechanical analysis of masonry was made on a model block with dimensions of 1 x 1 m which was isolated from a continuous wall 0,6 m in thickness. The modelled masonry was analysed in detail in this space. The masonry was bricked up on the headstone bond, where the horizontal and vertical joints were 5 cm thick. The dimensions of the stone ashlar are shown in Figure 1. The results are described in detail elsewhere, [4], here are presented only substantial achievements which illustrate a need of a detailed analysis in individual cases, fig. 2. However, the cited paper contains graphs and tables which enable to analyse specific stress at arbitrary combinations of stone and masonry characteristics.

The results show importance of knowledge of material change due to consolidation treatment which is mostly neglected in conservation practice. There are frequently introduced materials and techniques without adequate and long term testing and verification. Even in the case of rather clear opinion on compatibility, as e.g. in the case of use of so called lime water for consolidation of lime mortars, the lack of reliable testing generates hazards and wastes resources in cases which are not suitable for the application of this technique. From the chemistry point view the lime water is compatible but the technology which is necessary application, i.e. repeated wetting in hundreds of cycles and very low efficiency may cause more damage than benefits due to significant loss of original or authentically transformed surface material, fig. 3, [5].

When making interventions, technologically identical or similar methods should always be used, but only such as have been scientifically substantiated and reliably verified in practical applications. It should be taken into account that even the appli-

ciażeniami muru ciosanego złożonego z kamieni i spoiwa o różnych parametrach fizycznych poddanego cyklicznemu obciążeniu termicznemu. Przygotowano dokładną analizę termiczną i mechaniczną w oparciu o blok modelowy w wymiarach 1 x 1 m, oddzielonego od ciągłej ściany o grubości 0,6 m. Badany mur zanalizowano w tym miejscu bardzo szczegółowo. Mur był postawiony z cegły na kamieniach nagrobkowych, a spoiny pionowe i poziome miały grubość 5 cm. Wymiary kamieni ciosanych podano na rycinie 1. Szczegółowe wyniki opisano gdzie indziej, [4], tutaj przedstawiono jedynie podstawowe osiągnięcia, które ilustrują potrzebę starannej analizy poszczególnych przypadków (rys. 2). Jednakże cytowana praca zawiera wykresy i tabele, dzięki którym możliwe jest analiza naprężeń w poszczególnych połączeniach kamieni o różnych właściwościach.

Wyniki pokazują, jak ważna jest wiedza o zmianach materiału spowodowanych zabiegiem konsolidacyjnym, którą w praktyce konserwacji zwykle się zaniedbuje. Często wprowadza się materiały i techniki bez odpowiednich długoterminowych testów i weryfikacji. Nawet w przypadku dość jasnej opinii na temat kompatybilności, np. przy wykorzystaniu tzw. wody wapiennej do konsolidacji wapiennych spoiw, brak wiarygodnych badań powoduje ryzyko i marnowanie zasobów w sytuacjach nieodpowiednich do zastosowania tej techniki. Z punktu widzenia chemii woda wapienna jest kompatybilna, ale technologia konieczna do jej aplikacji, czyli wielokrotnie zamaczanie w setkach cykli i bardzo niska wydajność mogą przynieść więcej szkód niż korzyści z powodu utraty materiału pierwotnej lub autentycznie zmienionej powierzchni (rys. 3) [5].

Przy podejmowaniu interwencji należy zawsze stosować metody identyczne lub podobne, ale tylko wówczas, jeśli zostały one naukowo uzasadnio-

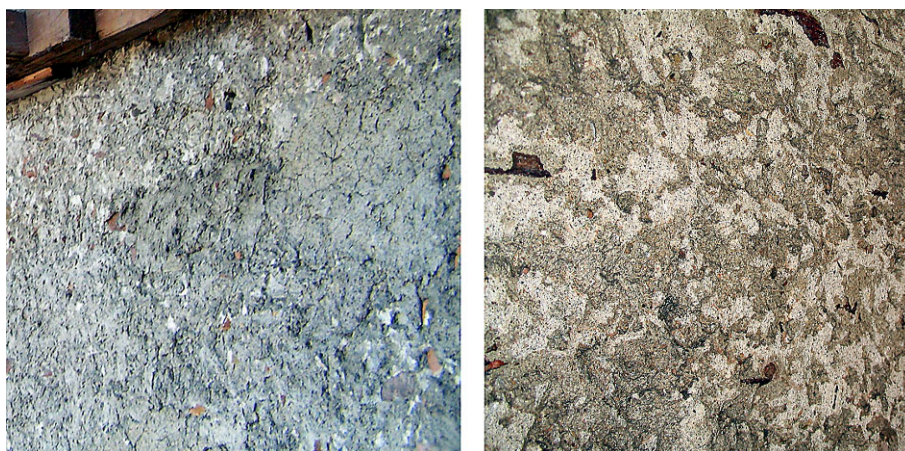


Fig. 3. Surface of render before lime water consolidation (left) and the quality of surface after 150 cycles of lime water spraying (right) with apparently dissolved surface crust formation and washed away from a significant surface area.

Ryc. 3. Powierzchnia tynku przed konsolidacją wodą wapienną (po lewej) oraz jakość powierzchni po 150 cyklach spryskiwania wodą wapienną (po prawej) z wyraźnie rozpuszczoną skorupą na powierzchni i zmytą dużą częścią powierzchni.

cation of a traditional material or technology always represents an intervention and may even lead to a deterioration from the state existing before the intervention (e.g., due to the introduction of a wet process into the restoration). This problem deserves great attention and endeavour, e.g. repairing timber structures without the use of steel connecting elements or any modern materials (reinforced and non-reinforced plastics).

### 3. Structures with historical faults

A specific problem arises in the restoration of monuments with historical (authentic) faults. While in the case of the above-mentioned roofing materials the necessity of replacing the “fire-hazardous” material with another, safe material has been generally accepted, in other cases it is not so, perhaps with the exception of rehabilitation plasters. Cracks due to expansion are usually “stitched” together, and the faulty cornice details are restored with original errors. This approach should be changed, and the durability should be superior to formal copying of original details or repairs of appearance in justified cases. This applies primarily to the remediation of natural expansion cracks made without an adequate technical solution.

Typical problems involve: missing expansion joints (unaccommodated volumetric temperature and moisture changes), faulty details (mostly cornices), unsuitable materials, insufficient protection against climatic factors, rising damp, fig. 4, [6]. Details which exhibited inadequate behaviour and durability should not be repeated because the aesthet-

ne i wiarygodnie zweryfikowane w praktyce. Należy uwzględnić, że nawet użycie tradycyjnego materiału lub technologii zawsze stanowi interwencję i może powodować pogorszenie stanu w porównaniu z sytuacją przed interwencją (np. z powodu wprowadzenia procesu renowacji na mokro). Problem ten zasługuje na dużo uwagi i wysiłku np. renowacji konstrukcji drewnianych bez użycia stalowych elementów łączących ani nowoczesnych materiałów (wzmocnione lub niewzmocnione materiały z tworzyw sztucznych).

### 3. Konstrukcje z historycznymi błędami

Szczególne problemy towarzyszą restauracji zabytków z historycznymi (oryginalnymi) błędami. O ile w przypadku omówionych wyżej materiałów dachowych ogólnie uznaje się za konieczną wymianę “zagrożających pożarem” materiałów na inne, bezpieczniejsze, w innych przypadkach tak nie jest, z wyjątkiem być może gipsu do rehabilitacji. Pęknięcia spowodowane rozszerzaniem są zwykle “zszywane”, a obciążone błędami detale gzymsów są zwykle odtwarzane wraz z tymi błędami. To podejście należy zmienić, a trwałość powinna być uznana za ważniejszą kwestię niż formalne kopiowanie wszystkich oryginalnych detali i naprawianie wyglądu w uzasadnionych przypadkach. Dotyczy to przede wszystkim naprawiania naturalnych pęknięć spowodowanych brakiem adekwatnych rozwiązań technicznych.

Typowe problemy to: brak właściwych złączy (nieprzystosowanie do zmian temperatury i wilgotności), niewłaściwe detale (głównie gzymsy), nieodpowiednie materiały, niewystarczająca ochrona przed czynnikami pogodowymi, wzrost wilgotności (rys. 4) [6]. Nie powinno się odtwarzać detali,



Fig. 4. Examples of failures caused by original faulty design – a water trap accelerating frost damage (left), an unsuitable combination of materials (centre), staining with copper oxidation products, (photo Z.Slížková, M.Drdáček)

Ryc. 4. Przykłady uszkodzeń spowodowanych błędnym pierwotnym projektem – studzienka przyspieszająca uszkodzenia wskutek mrozów (po lewej), niewłaściwe połączenie materiałów (na środku), przebarwienia spowodowane utlenianiem się miedzi (fot. Z.Slížková, M.Drdáček)

ic damage from a failure is always worse than functioning aesthetic change in original appearance (if it is even possible to identify the original shape).

The restoration approach should react to similar problems, and an appropriate theoretical background supporting sound and sustainable solutions should be developed. Again, substantial improvements in approaches call for an international system for gathering data on failures in the field of architectural heritage and conservation. A pilot system has been installed on the ITAM web site [www.arcchip.cz](http://www.arcchip.cz), and potential users are welcome to register.

#### 4. Surface treatment

Surfacing is a very effective way of improving the durability and service life of a structure. Once again, only materials that are highly compatible with the original materials, and with the work as a whole, should be applied. Moreover only materials with adequately certified life time and proven neutrality to the original material. Let us show one example which does not fulfil such requirements and create substantial man made damage due to inappropriate conservation.

Some chemicals that are present in preservatives can induce chemical reactions, which cause damage to wood polymers. Among such chemicals are ammonium sulphate and ammonium phosphates that serve as components of fire retardants. Many roof beams in historical buildings in the Czech Republic have been repeatedly treated with these fire retardants. This treatment brought about damage to the historical wood surface consisting in a release of loose wood fibres, named as “defibring”. For instance, the roof beams of the Old Royal Palace within the Prague Castle (Czech Republic) are damaged by defibring, fig. 5. There was adopted a restoration technology starting with measurement of the wood pH value which was 4-5 in dependence on the sampling point. Then the damaged wood was removed from the beam surface with a brush and the beams were treated with a neutralizing solution containing calcium carbonate and boric acid. The composition of the solution was modified so as to match the observed acidity of the wood. The neutralization process resulted in a pH value increase roughly to 5-6. Subsequently the parts were treated with a boric acid based protective agent. As it appears, however, this procedure is inefficient, and in a few years the process of defibring of the wood surface sets in again, [7]. The effect of fire retardants based on ammoni-

których zachowanie i trwałość nie były właściwe, ponieważ skutki uszkodzenia dla estetyki są zawsze gorsze niż funkcjonująca zmiana estetyczna w stosunku do pierwotnego wyglądu (jeśli jest w ogóle możliwe, aby zidentyfikować oryginalny kształt).

Proces restauracji powinien uwzględniać takie sytuacje i należy stworzyć odpowiednie podstawy teoretyczne dla skutecznych i trwałych rozwiązań. Również w tym przypadku zasadniczy rozwój podejścia wymaga międzynarodowego systemu gromadzenia danych o powstałych uszkodzeniach w dziedziny dziedzictwa architektonicznego i konserwacji. Zainstalowano już system pilotażowy na stronie internetowej ITAM: [www.arcchip.cz](http://www.arcchip.cz), gdzie wszyscy potencjalni użytkownicy mogą się zarejestrować.

#### 4. Praca z powierzchnią

Pokrywanie warstwą powierzchniową to bardzo skuteczna metoda poprawiania trwałości i funkcjonalności konstrukcji. Należy jednak stosować tylko materiały o wysokiej kompatybilności z pierwotnymi materiałami i całością konstrukcji. Ponadto dopuszczalne są tylko materiały o adekwatnie długim okresie trwałości i dowiedzionej neutralności wobec materiałów pierwotnych. Poniżej przedstawiono jeden przykład, w którym wymogi te nie zostały spełnione, co doprowadziło do znacznych szkód wynikających z nieprawidłowej konserwacji.

Niektóre substancje chemiczne, które występują w środkach konserwujących, mogą spowodować reakcje chemiczne szkodliwe dla drewna. Do takich substancji należą siarczki amonu i fosforany amonu, które są składnikami środków spowalniających proces spalania. Wiele dźwigarów dachów w historycznych budowlach w Czechach poddano wielokrotnie konserwacji takimi środkami spowalniającymi proces spalania. Zabiegi te spowodowały uszkodzenia historycznej powierzchni drewna. Uszkodzenie polegało na uwolnieniu luźnych włókien drewna – rozszczepieniu włókien. Na przykład dźwigary dachowe Starego Pałacu Królewskiego na Zamku Praskim w Czechach uległy zniszczeniu wskutek rozszczepianie włókien (rys. 5). Zastosowano technologię restauracji, która rozpoczęła się od pomiaru pH wody, które wynosiło 4-5 w zależności od miejsca badania. Następnie uszkodzone drewno usunięto z powierzchni dźwigara szczotką i zakonserwowano dźwigary neutralizującym roztworem zawierającym węglan wapnia i kwas borny. Skład roztworu modyfikowano tak, aby odpowiadał stwierdzonej kwasności drewna. Proces neutralizacji doprowadził do wzrostu pH do około 5-6. Następnie części zakonserwowano kwasem bornym na bazie środka ochronnego. Okazuje się

um sulphate and ammonium phosphates has been examined extensively by USDA Forest Service, Forest Products Laboratory (e.g. by J. E. Winandy and S. L. LeVan [8]), too, particularly in relation to a decrease in the strength of plywood sheathings and strandboards under conditions of increased temperature and humidity.

Separation of wood fibres (defibring) in the transverse direction can be seen when observing the damaged wood (chips and fibres) under an optical microscope. In chip samples, the damage is associated with the formation of cracks and microcracks and fibres being torn from the wood surface. Examination of the anatomical structure of the damaged wood by electron microscopy revealed that both cellulose and lignin are damaged by chemical reactions. In some cases, mechanical damage of the wood structure due to crystallization pressures is also conceivable. The infrared spectra show that with the increasing level of wood defibring relative lignin content in wood decreases. This relative decrease of lignin was observed in all the samples of the damaged wood taken from all of the observed buildings. On the other hand, a relative carboxyl group content in the wood was found to increase with increasing degree of defibring, apparently as a result of oxidation of hydroxyl groups both in cellulose and in lignin. The decrease of mechanical properties only concerned the surface layers of beams affected by defibring (no deeper than 5 mm in our tests). The reduction of mechanical parameters of the damaged surface layer of the wood was appreciable, sometimes making over 50% in comparison to the non-damaged wood sections (tensile strength along the fibres and hardness).

The results of this investigation give evidence that the fibres on the wood surface mainly consist of cellulose, which is occasionally partly damaged, and that, contrary to a general belief, the observed

jednak, że procedura ta jest nieefektywna i po kilku latach ponownie następuje proces rozszczepienia włókien [7]. Skutki działania środków spowalniającego proces spalania na bazie siarczku amonu i fosforanów amonu zbadało dokładnie Laboratorium Produktów Leśnych amerykańskiej agencji USDA Forest Service (np. J. E. Winandy i S. L. LeVan [8]), szczególnie w kontekście spadku wytrzymałości poszycia ze sklejki i splotów w warunkach podwyższonej temperatury i wilgotności.

Rozchodzenie się włókien drewna (rozszczerpienie) w kierunku poprzecznym można stwierdzić przy obserwacji uszkodzonego drewna (wiórów i włókien) pod mikroskopem optycznym. W próbkach wiórów uszkodzenie wiąże się z powstawaniem rys i mikrorys, a w przypadku włókien chodzi o ich odrywanie od powierzchni drewna. Badanie struktury anatomicznej uszkodzonego drewna pod mikroskopem elektronowym wykazało, że zarówno celuloza, jak i lignina były uszkodzone wskutek reakcji chemicznych. W niektórych przypadkach widoczne były także uszkodzenia mechaniczne struktury wynikające z ciśnienia krystalizacji. Promienie podczerwieni ukazały, że w miarę wzrostu rozszczepiania włókien, spada względna zawartość ligniny w drewnie. Ten względny spadek ligniny zauważono we wszystkich próbkach uszkodzonego drewna pobranych ze wszystkich obserwowanych budynków. Z drugiej strony wykryto wzrost względnej zawartości grup karboksylowych w drewnie w miarę wzrostu rozszczepienia włókien, co widocznie było skutkiem utleniania grup hydroksylowych zarówno w celulozie, jak i w ligninie. Spadek właściwości mechanicznych dotyczył nie tylko powierzchniowych warstw dźwigarów, w których doszło do rozszczepienia włókien (w naszych testach – nie głębiej niż 5 mm). Obniżenie parametrów mechanicznych uszkodzonych warstw powierzchniowych było znaczne, czasami sięgało nawet 50%

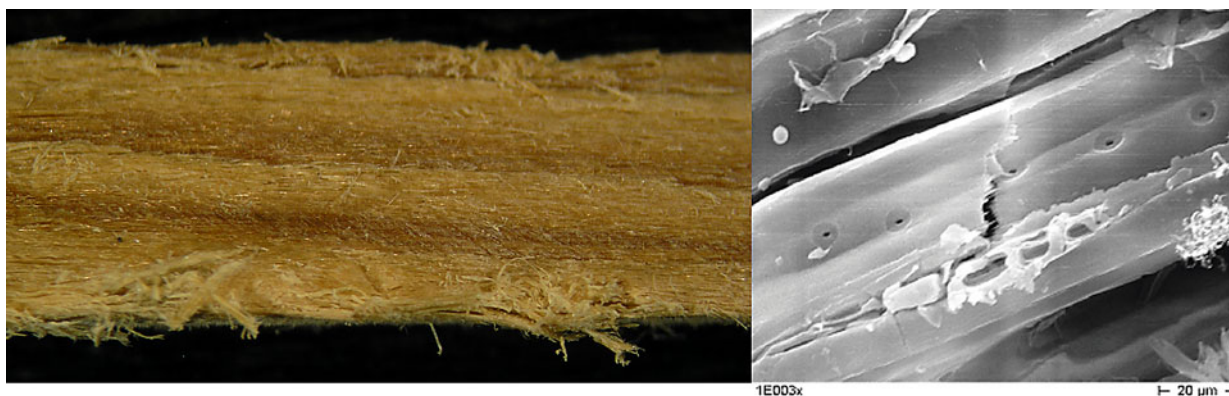


Fig 5. Surface of defibred wood (a tensile test specimen – left) and separation of cells and a cell wall crack in the chip sample taken from defibred surface

Rys 5. Rozszczepienie włókien drewna (w próbie rozciągania – po lewej) oraz oddzielanie się komórek i pęknięcie ściany komórek w próbce wiórów pobranej z rozszczepionej powierzchni

increase in wood acidity is not due to the previous application of fire retardants and subsequent acid hydrolysis; instead, this effect seems to be due to oxidation of the structural components of wood. Oxidation of lignin appears to be the major mechanism of wood defibring. This fact also explains why the current remedial action consisting in the application of a neutralizing solution is inefficient.

### 5. Combined inappropriate conservation with neglected maintenance

Several examples from recent damage on cultural heritage monuments due to natural disaster effects clearly show a very close dependence of the extent of damage on the previous restoration interventions and the health condition of the damaged monument, [9].

For example, observations of the post-earthquake effects carried out in four historic centres in Umbria and, for purposes of comparison, in two historic centres in Liguria showed that building collapses had occurred mainly due to *lack of maintenance* and due to *incompatibility of the techniques adopted for repair work*. Heavy concrete beams hammered the walls, tie beams introduced into the walls caused them partially to collapse, injections failed because the walls were not injectable. This phenomenon was recorded by L. Binda and at other Universities (Padua, Genova, etc.) in an extensive survey extended to the historic centres of Campi, Castlucchio, Montesanto and Roccanolfi in Umbria.

Similarly, Ch. Schmuckle-Mollard referred about a powerful storm with wind velocities up to 180 km/h raged through France on December 26<sup>th</sup>, 1999 and caused great devastation to the architectural heritage and to forests from Brittany to Alsace. The Paris region was particularly badly hit, with the worst damage to the large 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> century Paris hospital complexes, which were in some cases *poorly maintained*.

The third author analysed damage on historic objects in the Château Veltrusy park near Prague which were severely damaged by the flood in 2002. There was remarkable difference between objects which had been properly restored before the flood, e.g. a stone bridge with Sphinx and objects which

w porównaniu z nieuszkodzonymi częściami drewna (wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien i twardość).

Wyniki tych badań świadczą, że włókna powierzchni drewna składają się głównie z celulozy, która jest czasami częściowo uszkodzona oraz że wbrew powszechnym opiniom, zaobserwowany wzrost kwasowości drewna nie wynika z zastosowania najpierw substancji spowalniających proces spalania, a późniejszej hydrolizy kwasu; wydaje się natomiast, że efekt ten wynika z utleniania komponentów drewna. Utlenianie ligniny wydaje się być głównym mechanizmem rozszczepiania włókien drewna. Fakt ten wyjaśnia także, dlaczego obecne działania naprawcze polegające na aplikacji roztworu neutralizującego są nieskuteczne.

### 5. Połączenie niewłaściwej konserwacji z zaniedbaniami w utrzymaniu

Kilka niedawnych przykładów uszkodzenia zabytków dziedzictwa kulturowego przez klęski żywiołowe pokazuje wyraźnie zależność rozmiaru zniszczeń od wcześniejszych interwencji w celu restauracji oraz stanu uszkodzonego budynku [9].

Na przykład obserwacja skutków trzęsienia ziemi dla czterech historycznych centrów Umbrii oraz ich porównanie z dwoma historycznymi centrami w Ligurii wykazała, że budynki ulegały zniszczeniu głównie z powodu *braku stałej konserwacji* oraz *niekompatybilności technik przyjętych w pracach naprawczych*. Ciężkie betonowe dźwigary miażdżyły ściany, belki wiązarów wprowadzone w ściany powodowały ich częściowy upadek, zastosowane w murach iniekcje były nieskuteczne. To zjawisko zaobserwowane przez L. Binda i inne uniwersytety (Padwa, Genewa, etc.) w czasie obszernych badań obejmującego historyczne centra Campi, Castlucchio, Montesanto i Roccanolfi w Umbrii.

Również Ch. Schmuckle-Mollard opisywali potężną burzę, w której wiatr osiągał prędkość do 180 km/h we Francji 26. grudnia 1999. Burza ta spowodowała potężne zniszczenia dziedzictwa architektonicznego i lasów od Bretanii do Alzacji. Szczególnie ucierpiał rejon Paryża, a zwłaszcza ogromne kompleksy szpitalne w stolicy Francji, pochodzące z XVIII i XIX w., które w niektórych przypadkach były *źle utrzymane*.

Trzeci autor analizował uszkodzenia obiektów historycznych w parku Château Veltrusy niedaleko Pragi, który bardzo ucierpiał wskutek powodzi w 2002 r. Widoczna była ogromna różnica między obiektami, które przed powodzią poddały właściwej konserwacji, np. kamiennym mostem ze Sfinksem i obiektami, które zaniedbano lub restaurowa-



were neglected or incorrectly restored, e.g. sculptures on the Château monumental stairs, fig. 6. Even though the bridge was totally immersed in a high water stream, it needed to be only cleaned with water and low pressure steam. In 2004 some hair cracks and slight mortar disintegration were visible in masonry joints. After repeated flooding in 2006 the bridge was slightly restored (colour retouch, plaster repair). On the other hand, the sculptures were repaired long before the 2002 flood in a way which applied Portland cement and polyvinylacetate consolidation which substantially decreased water and vapour permeability and kept water inside the material. This increased contamination by salts, biocolonization and surface detachment and disintegration patterns up to 3 m height. Freezing, moisture dilation and crystallization damage required a very substantial restoration intervention.

no nieprawidłowo, np. rzeźby przy monumentalnych schodach pałacu (rys. 6). Pomimo iż most był całkowicie przykryty przez wodę, wymagał tylko oczyszczenia wodą pod niskim ciśnieniem. W 2004 r. w spoinach muru pojawiły się maleńkie rysy i pewne oznaki rozpadu spoiwa. Po kolejnej powodzi w 2006 r. przeprowadzono niewielkie prace restauracyjne przy moście (odnowienie koloru, naprawa części gipsowych). Natomiast rzeźby remontowano długo przed 2002 r. metodą z użyciem cementu portlandzkiego i konsolidacji poliwinylacetalu, co znacznie obniżyło przepuszczalność wody i pary, powodując zatrzymywanie wody wewnątrz materiału. To zwiększyło zanieczyszczenie solami, biokolonizację oraz odpadanie części powierzchni i zniszczenie zdobień aż do wysokości 3 m. Zamrażanie, rozszerzanie pod wpływem wilgoci i krystalizacja spowodowały szkody, które wymagały poważnej interwencji.



Fig. 6. Restored bridge before flood (left), damaged sandstone sculptures (right) with apparent corrosion defects  
Ryc. 6. Odnowiony most przed powodzią (po lewej), uszkodzone rzeźby z piaskowca (po prawej) z widocznymi uszkodzeniami korozyjnymi

## 6. Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge support from Institutional research plan grant AV0Z 20710524, the Czech Grant Agency GA ČR grant No.103/07/1091 and the “CHEF” Project of the 6<sup>th</sup> Framework Programme on Research and Technology Development of the European Commission (Contract No.044251).

## 6. Podziękowania

Autorzy dziękują za wsparcie w ramach grantu badań instytucjonalnych AV0Z 20710524 od Czeskiej Agencji ds. Grantów GA ČR, grant No.103/07/1091 oraz projektu “CHEF” z 6. Programu Ramowego w zakresie Badań i Rozwoju Technologicznego Komisji Europejskiej (Umowa nr 044251).

## References • Literatura

- [1] Delgado Rodrigues J., *Assessing compatibility in conservation of masonry structures on archaeological sites*. In: *Proceedings Safeguarded Cultural Heritage (SAUVEUR Project – M. Drdáký, M. Chapuis (eds.)), Vol.1, ISBN 978-80-86246-31-4 (Vol. 1), ISBN 978-80-86246-29-1 all, ITAM 2007, 171-180.*
- [2] Sasse, H. R. and Snethlage, R., *Methods for the Evolution of Stone Conservation Treatments*, Report of the Dahlem Workshop on “Saving our architectural heritage: the conservation of historic stone structures.” Edited by N. S. Baer and R. Snethlage, John Wiley & Sons Ltd., 1997, 223-243.

- [3] Peroni, S., Tersigni, C., Torraca, G., Cerea, s., Forti, M., Guidobaldi, F., Rossi-Doria, P., De Rege, A., Picchi, D., Pietrafitta, F. J. and Benedetti, G., *Lime Based Mortars for the Repair of Ancient Masonry and Possible Substitutes*, Proceedings of Mortars, Cements and Grouts used in the Conservation of Historic Buildings, ICCROM, 1981, 63-100.
- [4] Drdácký, M., Beran, P., *On compatible dilation limits*, International Journal of Architectural Heritage, (in print), 2009.
- [5] Drdácký, M., Slížková, Z., *Calcium hydroxide based consolidation of lime mortars and stone*, In: Proceedings of the Int. Symp. „Stone consolidation in cultural heritage“ – J. Delgado-Rodrigues, J. M. Mimoso (eds.), ISBN 978-972-49-2135-8, LNEC, Lisabon, May 2008, 299-308.
- [6] Drdácký, M., Slížková, Z., *Interventions to sustain and protect the originality of historical structures*, in: Proceedings of the International Seminar “Theory and Practice in Conservation – a tribute to Cesare Brandi” (eds. J. Delgado Rodrigues & J.M. Mimoso), ISBN 972-49-2073-9, Lisbon, May 4-5, 2006, LNEC RNI 65, Lisbon, 2006, 243-252.
- [7] Kučerová, I., Ohlidalová, M., Frankl, J., Kloiber, M., Michalcová, A. (2008): Defibring of historical roof beam caused by ammonium sulphate and ammonium phosphates based fire retardants.
- [8] Le Van, S. L., Winandy, J. E., *Effects of fire retardant treatments on wood strength: a review*, Wood and Fiber Science, 22(1), 1990, 113-131.
- [9] Drdácký, M., Binda, L., Herle, I., Lanza, L.G., Maxwell, I., Pospíšil, S.: *Protecting the Cultural Heritage From Natural Disasters*, Study of the European Parliament IP/B/CULT/IC/2006\_163, PE 369.029, p. 100, February 2007.

---

\*Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Science of the Czech Republic  
Instytut Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej Akademii Nauk Republiki Czeskiej

\*\*Department of Chemical Technology of Monument Conservation, Institute of Chemical Technology Prague, Czech Republic  
Wydział Technologii Chemicznej w Konserwacji Zabytków, Instytut Technologii Chemicznej, Praga, Republika Czeska

---