

Karol Kramarz*¹

Nowatorska technologia wykonywania iniekcji ciśnieniowej w budowlach i materiałach budowlanych – informacja techniczna

Innovative Technology for Pressure Grouting in Structures and Building Materials: Technical Information

Słowa kluczowe: iniekcja ciśnieniowa, renowacja murów, wzmocnienie konstrukcji

Keywords: pressure grouting, wall restoration, structural reinforcement

Naprawy renowacyjne obiektów

Współcześnie, zwłaszcza w Europie, pierwszorzędne znaczenie zyskuje zjawisko rewitalizacji miast, zwłaszcza mających wielowiekową historię rozwoju. Związana z tym problematyka konserwacji i renowacji obiektów zabytkowych nabiera pierwszorzędnego znaczenia nie tylko kulturowego, lecz także technicznego, do którego zaliczają się zabiegi polegające na ich naprawach, wzmocnieniach, odnowie i rekonstrukcji. Obiekty zabytkowe ulegają naturalnemu procesowi degradacji wskutek starzenia się, a dodatkowo występują szkody budowlane powstałe z różnych przyczyn, np. zmiany warunków terenowych i hydrologicznych czy zmiana funkcji obiektu, a dodatkowo nakłada się oddziaływanie skażonego środowiska. Coraz więcej zespołów zabytkowych i budowli wymaga kosztownych i skomplikowanych zabiegów konserwatorskich i technicznych.

Szkody w budowlach najczęściej występują w postaci: wykwitów solnych, wybarwień wilgotnościowych oraz rys i spękań w murach fundamentowych, ścian, stropów, łuków, sklepień, filarów, fundamentów itp. Zagrożeniu i zagładzie ulegają bezcenne budowle o wartości narodowej, historycznej, sakralnej i archi-

Restoration work on buildings

Nowadays, particularly in Europe, urban regeneration is taking on paramount importance, especially in cities with a history of development stretching back centuries. Related issues of conserving and renovating historic buildings are also becoming increasingly important, not only culturally but also technically, including measures such as repair, reinforcement, restoration, and reconstruction. Historic buildings naturally deteriorate as they age; in addition, structural damage can occur for various reasons, such as changes in site and hydrological conditions or changes in the building's function, compounded by environmental pollution. An increasing number of historic complexes and buildings require costly and complex conservation and technical interventions. Damage to buildings most commonly takes the form of: salt efflorescence, moisture-induced discoloration, and cracks and fissures in foundation walls, walls, ceilings, arches, vaults, pillars, foundations, etc. Priceless buildings of national, historical, religious, and architectural significance are at risk of destruction. These structures should be preserved for the cultural heritage of the country in question, as well as for humanity. To this end, all reasonable techniques

* mgr inż., dyplomowany konserwator zabytków nieruchomości

* *M.Sc. Eng., qualified conservator of immovable heritage*

Cytowanie / Citation: Kramarz K. Innovative Technology for Pressure Grouting in Structures and Building Materials: Technical Information. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2026, 86S:236–246

Otrzymano / Received: 10.05.2025 • **Zaakceptowano / Accepted:** 1.03.2026

doi: 10.48234/WK86SPRESSURE

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

Article accepted for publishing after reviews

tektonicznej. Budowle te powinny być ratowane dla dziedzictwa kulturowego danego kraju, jak również dla ludzkości. W tym celu używa się wszelkich racjonalnych technik, zarówno pochodzenia historycznego, jak i nowoczesnych. Zgodnie z obowiązującymi w tej dziedzinie zasadami do działań naprawczych obiektów zabytkowych należy stosować metody najmniej inwazyjne, z użyciem takich samych materiałów lub materiałów posiadających właściwości zbliżone do materiału naprawianego. Zasadniczo można wymienić trzy podstawowe metody napraw obiektów, a mianowicie:

- zespolenie – spojenie, np. spękanych murów, materiałami wiążącymi;
- wprowadzenie specjalnych elementów wzmacniających i zespalających budowlę lub jej fragmenty, np. wieńców, ściągów, klamer, kotew, cięgien itp.;
- zabezpieczenie budowli przed korozją chemiczną i biologiczną oraz przed wilgocią.

Zasadnicze powody, z których wynika konieczność wzmocnienia konstrukcji budowli, to:

- ogólny zły stan techniczny obiektu, wymagający remontu, w tym zabiegów wzmacniających, bez zmiany jego funkcji, np. w celu dalszej eksploatacji;
- dobry ogólny stan techniczny obiektu, ale wymagane jest jego wzmocnienie ze względu na zwiększony poziom obciążeń, np. budowla nie odpowiada już obecnym warunkom eksploatacyjnym;
- wzmocnienie wynika z wszelkiego rodzaju zmian funkcji konstrukcji lub jej elementów, np. zmiany przeznaczenia pomieszczeń, zainstalowania dodatkowych urządzeń;
- wzmocnienie wynika z różnego rodzaju przeróbek lub modernizacji istniejącej budowli, np. montażu w budynku szybu windowego, ruchomych schodów itp.;
- ogólny stan techniczny jest niezadowalający lub zły, a dalsza eksploatacja wymaga takiego wzmocnienia; nie chodzi przy tym o zmianę funkcji obiektu, np. projektowanie na mniejsze od obecnych obciążenia użytkowe, zastosowanie gorszego materiału budowlanego itp.

Najczęściej potrzeba wzmocnienia wynika jednocześnie z dwóch głównych powodów: zwiększonego poziomu różnego rodzaju obciążeń oraz złego stanu technicznego obiektu. Coraz częściej przy rewitalizacji miast, jak i danego obiektu, dochodzi nowy powód, tj. zmiana funkcji obiektu.

Rewitalizacja obiektów zabytkowych zazwyczaj wiąże się ze zmianą funkcji obiektu. Zmiany te dotyczą również coraz częściej podziemnych i zagłębionych części budowli. Nagminnie zmienia się np. sposób użytkowania pomieszczeń piwnicznych na pomieszczenia użyteczności publicznej, takie jak sklepy, kawiarnie, restauracje, sklepy itp. Zmiany te wymuszają dokonywanie odpowiednich robót adaptacyjnych. Część tych robót, takich jak wzmocnienie fundamentów, wzmocnienie ścian, osuszenie, odsolenie i odgrzybienie, wykonuje się zazwyczaj metodą iniekcji ciśnieniowej.

are employed, whether of historical origin or modern in nature. In accordance with the principles governing this field, the least invasive methods must be used to restore historic buildings, employing the same materials or materials with properties similar to those of the material being repaired. Essentially, there are three basic methods of restoring buildings, namely:

- bonding—joining with binding materials, e.g., of cracked masonry;
 - the installation of special elements to reinforce and join the structure or parts thereof, e.g., ring beams, tie rods, clamps, anchors, tension rods, etc.;
 - protection of the structure against chemical and biological corrosion and against moisture.
- The main reasons why it is necessary to reinforce the structure of a building are:
- the structure is in a generally poor state of repair and requires renovation, including strengthening works, without changing its function, e.g. to enable its continued use;
 - the structure is in a generally good state of repair, but requires strengthening due to increased loads, e.g., the structure no longer meets current operational requirements;
 - reinforcement is necessitated by any changes to the function of the structure or its components, e.g., a change in the intended use of rooms, or the installation of additional equipment;
 - reinforcement is necessitated by various types of alterations or modernization of the existing structure, e.g., the installation of a lift shaft, escalators, etc., within the building;
 - the overall technical condition is unsatisfactory or even poor, and continued use requires such reinforcement; this does not, however, involve a change in the building's function, e.g., designing for lower service loads than at present, the use of inferior building materials, etc.

Most often, the need for reinforcement stems from two main reasons: increased levels of various types of loads and the building's poor technical condition. Increasingly, in the context of urban regeneration and the regeneration of individual buildings, a new reason is emerging, namely a change in the building's function.

Regenerating historic buildings usually involves changing their use. These changes are also increasingly affecting the underground and sunken parts of buildings. For example, basement spaces are often converted into public facilities such as shops, cafés, restaurants, storage areas, etc. These changes necessitate appropriate adaptation works. Some of these works, such as foundation reinforcement, wall reinforcement, dehumidification, desalination, and mold removal, are usually carried out using pressure injection.

The injection method has long been known; however, recent advances in chemistry and technology have expanded and improved its scope. An assessment of methods used in domestic and international markets confirms that pressure injection is one of the most effective

Metoda iniekcji jest znana od dawna, jednak w ostatnim okresie rozwój chemii i techniki pozwolił zwiększyć i usprawnić zakres tej metody. Ocena metod stosowanych na rynku krajowym i rynkach zagranicznych potwierdziła, że metodę iniekcji ciśnieniowej należy uznać za jedną z najskuteczniejszych i najbardziej efektywnych metod zabezpieczeń budowli, mając również na uwadze jej wszechstronny charakter. Dowodem tego jest np. priorytetowe i masowe stosowanie jej w krajach zachodnich przy naprawie budowli przemysłowych i renowacji obiektów zabytkowych. Metoda ta pozwala na modyfikowanie właściwości wielu porowatych materiałów, takich jak: cegła, zaprawy, beton, kamień i drewno. Umożliwia usunięcie kawern i pęknięć, nadając niektórym materiałom nowe, lepsze właściwości oraz poprawiając parametry pracy budowli.

Metoda iniekcji z założenia jest zabiegiem stosunkowo prostym technicznie. Dopiero sama jej realizacja, a tym bardziej kontrola efektów, wiąże się ze znacznymi trudnościami. Należy przy tym podkreślić, że wykonujący ten zabieg techniczny musi być fachowcem w pełni znającym nie tylko technologię iniekcji, lecz przede wszystkim technologię wykonania i fizykę danej budowli. Ponieważ iniekcja polega na stosunkowo skomplikowanej interwencji inżynierskiej, w której należy wykorzystać jednocześnie doświadczenia z kilku dyscyplin, istotna jest również prawidłowość i rzetelność przeprowadzenia tego zabiegu. Znaczny stopień trudności sprawia, że dotychczasowe doświadczenia w stosowaniu tej metody stanowią indywidualny dorobek poszczególnych grup zawodowych z różnych dziedzin, np. hydrotechniki, górnictwa, geotechniki, budownictwa przemysłowego i komunalnego, konserwacji zabytków itp. Z doświadczeń i rozpoznania autora w tej dziedzinie wynika, że najtrudniejszym zadaniem jest zabezpieczenie tą metodą obiektów zabytkowych. Wynika to ze złożoności czynników, które należy uwzględnić w tego rodzaju zabiegach, a także z często niestandardowych rozwiązań zastosowanych przy realizacji obiektu, specyfiki jego eksploatacji, użytych materiałów i aktualnego stanu technicznego. Dodatkowym utrudnieniem są szczególne wymagania i zalecenia obowiązujące przy realizacji prac w obiektach zabytkowych.

Przykładowo, mur z cegły jako ośrodek poddawany iniekcji może być, w zależności od stanu zachowania, traktowany jako w miarę jednorodny ośrodek porowaty lub – w przypadku spękań – jako ośrodek nieszczelny. Po rozpoznaniu ośrodka konfrontujemy go z celem iniekcji i ustalamy, czy należy wykonać ogólne wzmocnienie konstrukcji, czy tylko uzupełnienie rys i spękań, a może – jak to ma miejsce przy obiektach zabytkowych i archeologicznych – tylko zmniejszenie ogólnej porowatości. Po określeniu charakterystyki iniektowanego ośrodka oraz uwzględnieniu celu planowanego zabiegu ustala się wymagania dotyczące dalszych parametrów, w szczególności rodzajów iniektów oraz sposobu wykonania prac. Iniektami określa się substancje, które

tytu and efficient ways to protect buildings, largely because of its versatility. For example, evidence includes its widespread and prioritized use in Western countries to repair industrial structures and renovate historic buildings. This method allows the properties of many porous materials to be modified, such as brick, mortar, concrete, stone and timber. It enables the removal of voids and cracks, imparting new and improved properties to certain materials and enhancing structural performance. By design, the injection method is a relatively straightforward technical procedure. However, its implementation—and even more so monitoring the results—involves considerable difficulties. It should be emphasized that the person carrying out this technical procedure must be a specialist fully versed not only in injection technology, but above all in the construction techniques and physics of the structure in question. Because grouting involves a relatively complex engineering intervention that requires the simultaneous application of expertise from several disciplines, the correctness and reliability with which the procedure is carried out are also of paramount importance. The considerable difficulty means that experience to date in applying this method comprises the individual work of various professional groups from different fields, such as hydrotechnology, mining, geotechnics, industrial and municipal construction, and the conservation of historic buildings. The author's experience and research in this field indicate that the most challenging task is conserving historic buildings using this method. This is due to the complexity of the factors that must be considered in such projects, including the often non-standard solutions used in the building's construction, its specific use, the materials used, and its current technical condition. Another challenge is the specific requirements and recommendations governing work on historic buildings.

For example, a brick wall, as a medium undergoing injection, may—depending on its condition—be treated as a relatively homogeneous porous medium or, in the case of cracks, as a non-leaking medium. Once the medium has been characterized, we assess it against the grouting objective and determine whether general structural reinforcement is required, or merely filling cracks and fissures, or perhaps—as is the case with historic and archaeological structures—simply reducing overall porosity. Once the characteristics of the medium to be grouted have been determined and the objective of the planned treatment taken into account, the requirements for further parameters are established, in particular the types of grout and the method of carrying out the work. Grouting materials are substances that, when introduced into a given medium, alter its physical properties as a result of gelation, hardening, or setting processes within it.

Based on their properties, grouting materials can generally be divided into two basic groups:

- colloidal and true solutions, which behave like Newtonian fluids and include, for example, water glass and synthetic resins;

wprowadzone do danego ośrodka powodują zmianę jego cech fizycznych w wyniku zachodzących w nim procesów żelowania, twardnienia lub wiązania.

Ze względu na swoje właściwości iniektory ogólnie można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- roztwory koloidalne i rzeczywiste, zachowujące się jak ciecz newtonowska, do których zalicza się np. szkło wodne oraz żywice syntetyczne;
- zawiesiny, które poza fazą ciekłą zawierają również cząsteczki ciał stałych, takie jak zaczyny cementowe lub wapienne.

Wymienione podstawowe grupy iniektów charakteryzują się zupełnie innym sposobem zachowania w trakcie wprowadzania ich do ośrodka, stąd znajomość ich właściwości, a następnie adaptacja do konkretnych warunków zastosowania stanowi jeden z podstawowych warunków przeprowadzenia zabiegu iniekcji [Klin, Kramarz 1990].

Penetracja preparatu iniekcyjnego w porach materiału

Iniekcję wgłębną należy wykonywać odpowiednio długo, aby wytworzyć ciągłą, wodoszczelną warstwę na całej szerokości muru. Wokół każdego otworu iniekcyjnego tworzy się nasycona preparatem wodoszczelnym powierzchnia mająca kształt walca. Poszczególne walce nakładają się na siebie, budując ochronną barierę. Przy takich założeniach można w zasadzie obliczyć objętość środka wodoszczelnego potrzebnego do uzyskania właściwego efektu prac. W wypadku obiektu zabytkowego należy najpierw sprawdzić, jaki wpływ na zawartość wody w porach materiału poddawanego zabiegowi ma sam proces iniekcji oraz czy zachodzi poiniekcyjna redystrybucja wodoszczelnego roztworu.

Ważny jest też czas dojrzewania używanego preparatu. Badania naukowe w tej dziedzinie wykonali Stephen J. I'Anson i William D. Hoff, a wyniki zostały opublikowane w 1988 r. Rezultaty tych badań, dotyczące takich podstawowych spraw, jak możliwość przemieszczania niedojrzałego preparatu wodoszczelnego przez podciągającą kapilarnie wodę oraz występowanie poiniekcyjnej redystrybucji, są całkowicie sprzeczne z tym, w co wierzą i co głoszą wykonawcy budowlani. Wykonujący iniekcje chemiczne w celu wytworzenia poziomej izolacji przeciwwilgociowej w murach twierdzą, że po zaprzestaniu iniekcji wprowadzony do muru roztwór wodoszczelny jeszcze przez pewien czas będzie się przemieszczał, to znaczy, że samoczynnie będzie się powiększać strefa muru objęta zabiegiem uszczelniania. Powyższe przekonanie nie znajduje jednak, w świetle wspomnianych badań, uzasadnienia. Stwierdzony doświadczalnie brak redystrybucji niedojrzałych roztworów wodoszczelnych po przerwaniu dopływu tych cieczy do uszczelnianego materiału jest informacją o istotnym znaczeniu praktycznym, gdyż oznacza to, że po zaprzestaniu iniekcji roztwór wodoszczelny pozostaje dokładnie w tym samym miejscu, do którego został wprowadzony. Brak poiniekcyjnej

- suspensions which, in addition to the liquid phase, also contain solid particles, such as cement or lime slurries.

The main groups of injectables listed above behave completely differently when administered into the body; therefore, understanding their properties and adapting them to specific conditions of use is a fundamental requirement for carrying out an injection procedure [Klin, Kramarz 1990].

Penetration of the injectable preparation into the pores of the material

Deep injection should be carried out long enough to create a continuous, watertight layer across the entire width of the wall. Around each injection hole, a cylindrical surface saturated with the waterproofing compound is formed. The individual cylinders overlap, forming a protective barrier. On this basis, it is generally possible to calculate the volume of waterproofing agent required to achieve the desired result. In the case of a historic building, it is first necessary to determine what effect the injection process itself has on the water content within the pores of the treated material, and whether the waterproofing solution redistributes after injection.

The curing time of the waterproofing compound used is also important. Stephen J. I'Anson and William D. Hoff conducted scientific research in this field and published the results in 1988. The findings of this research, concerning such fundamental issues as the possibility of an unripe waterproofing compound being displaced by capillary-rising water and the occurrence of post-injection redistribution, are completely at odds with what building contractors believe and claim. Those who carry out chemical grouting to create a horizontal damp-proof course in masonry claim that, after grouting has ceased, the waterproofing solution introduced into the wall will continue to migrate for some time; in other words, the area of the wall covered by the waterproofing treatment will expand of its own accord. However, the aforementioned research does not support this belief. The experimentally confirmed absence of redistribution of immature waterproofing solutions once the supply of these liquids to the material being waterproofed is interrupted is of significant practical importance, as it means that once the injection ceases, the waterproofing solution remains exactly where it was introduced. The absence of post-injection redistribution of waterproofing solutions is linked to gel formation within the pores of the material being sealed. Calculations of water movement in capillaries show that this amounts to 6 mm over 24 hours, by which time the curing process is essentially complete. It follows that the movement of an uncured waterproofing solution due to capillary water rise in masonry is practically negligible. In summary, it must be stated that research by British scientists has demonstrated that:

redystrybucji roztworów wodoszczelnych jest związany z tworzeniem się żelu w porach uszczelnianego materiału. Z obliczeń przemieszczania się wody w kapilarach wynika, że wynosi ono 6 mm w ciągu 24 godzin, a w tym czasie proces dojrzewania zasadniczo się kończy. Wynika z tego wniosek, że przemieszczenia niedojrzałego roztworu wodoszczelnego na skutek kapilarnego podciągania wody w murach są praktycznie nieistotne. Reasumując, należy stwierdzić, iż badania naukowców angielskich dowiodły, że:

- po ustaniu iniekcji nie należy spodziewać się znaczącej redystrybucji wprowadzonego do muru wodoszczelnego roztworu;
- stosowane w budownictwie preparaty, tj. wodne roztwory substancji wodoszczelnych i roztwory składników wodoszczelnych w rozpuszczalnikach organicznych, po ustaniu iniekcji pozostają praktycznie unieruchomione w murze;
- przemieszczanie warstwy niedojrzałego roztworu wodoszczelnego, spowodowane kapilarnym podciąganiem wody w ścianie budynku, jest tak niewielkie, że dla celów praktycznych może być pominięte;
- proces dojrzewania obu typów preparatów wodoszczelnych można praktycznie uznać za zakończony przed upływem jednej doby od zakończenia iniekcji;
- jeżeli w murze ma być wytworzona bariera dla podciągającej wilgoci, musi to być ciągła warstwa muru nasyczonego wodoszczelnym roztworem. Badania Anglików wykazują, że ani siły kapilarne, ani poiniekcyjna redystrybucja roztworu nie pomogą w osiągnięciu tego celu;
- iniekcja lub infuzja muszą być kontynuowane wystarczająco długo, aby nałożyły się na siebie warstwy (mające kształt walca) utworzone wokół każdego otworu iniekcyjnego, do którego wprowadzono preparat wodoszczelny [Ferens 1989].

Wyniki te wnoszą znaczące fakty, które trzeba uwzględnić przy doborze i zastosowaniu metody osuszania obiektów i które stawiają pod znakiem zapytania efektywność zabiegów polegających na wlewaniu roztworu w otwory iniekcyjne. W latach 80. XX w. autor przeprowadził badania na obiektach zabytkowych. Materiałem, na którym przetestowano metody wspomnianych naukowców angielskich, były fundamenty i resztki murów zniszczonej w czasie ostatniej wojny starówki szczecińskiej. Drugim obiektem był mur zabytkowy przeznaczony do rozbiórki. Po przeprowadzeniu zabiegów iniekcji mur był rozbierany warstwami. Potwierdzono wówczas zasięg zabezpieczenia, sposób rozchodzenia się środka oraz jego zużycie. W trakcie tych badań stwierdzono, że używane do iniekcji oprzyrządowanie nie dawało oczekiwanych efektów. Mur w większości nie został w całym przekroju dostatecznie nasycony roztworem iniekcyjnym. W pełni potwierdziły się wywody badaczy angielskich związane ze sposobem wykonywanej iniekcji i jej rzeczywistą efektywnością.

- once the injection has ceased, no significant redistribution of the waterproofing solution introduced into the wall should be expected;
- the types of preparations used in construction, i.e., aqueous solutions of waterproofing substances and solutions of waterproofing components in organic solvents, remain virtually immobilized within the wall once the injection has ceased;
- the movement of the layer of uncured waterproofing solution, caused by capillary water rise within the building wall, is so negligible that it may be disregarded for practical purposes;
- the curing process for both types of waterproofing preparations can practically be considered complete within one day of the injection being finished;
- if a barrier against rising damp is to be created within the masonry, it must consist of a continuous layer of masonry saturated with the waterproofing solution. Research by the British shows that neither capillary forces nor the post-injection redistribution of the solution will help to achieve this aim; injection or infusion must be continued for a sufficiently long time so that the (cylindrical) layers formed around each injection hole into which the waterproofing compound has been introduced overlap one another [Ferens 1989].

These findings provide significant evidence that must be taken into account when selecting and applying methods for dehumidifying buildings, and they call into question the effectiveness of treatments involving injecting a solution into injection holes. In the 1980s, the author carried out research on historic buildings. The material on which the methods of the aforementioned British scientists were tested consisted of the foundations and remains of the walls of Szczecin's Old Town, which had been destroyed during the last war. The second structure was a historic wall earmarked for demolition. Following the grouting operations, the wall was dismantled in layers. The extent of the protection, the manner in which the grout spread, and its consumption were then confirmed. This research found that the grouting equipment did not produce the expected results. For the most part, the wall had not been sufficiently saturated with the injection solution throughout its entire cross-section. The British researchers' findings on the injection method and its effectiveness were fully confirmed.

Nature and purpose of building damp-proofing

Dehumidifying a building, particularly a historic one, does not mean eliminating moisture completely. It usually involves achieving a certain balance, restoring the building to its previous humidity conditions, or establishing new, favorable parameters for the building in question. To achieve this, both the project designer and the contractor carrying out the work should be fully aware of the factors determining the desired humidity parameters for the building, the conditions

Istota i cel osuszania obiektów

Osuszenie obiektu, zwłaszcza zabytkowego, nie oznacza całkowitego pozbycia się wilgoci. Zazwyczaj chodzi o uzyskanie pewnej równowagi lub powrót do wcześniejszych warunków wilgotnościowych, ewentualnie uzyskanie nowych, korzystnych parametrów dla danego obiektu. Aby to osiągnąć, zarówno autor projektu, jak i wykonawca zabiegu powinni znać całokształt czynników określających pożądane parametry wilgotnościowe dla obiektu, a także wymagane dla zabytkowej budowli warunki po osuszeniu oraz wpływ tego zabiegu na jej wyposażenie. Zabieg powinien pomóc w uzyskaniu takich warunków wilgotnościowych, które nie spowodują niekorzystnych zmian w zabytku. Należy szczególnie zwrócić uwagę na fakt, że osuszenie obiektu zabytkowego lub innego to nie tylko szczególnie szybkie pozbycie się wilgoci, które nie zawsze jest celem jedynym ani też podstawowym. Szybkiemu osuszeniu towarzyszy szereg niekorzystnych zjawisk, gdyż występujące wtedy zmiany fizyczne i chemiczne, takie jak naprężenia, odkształcenia, siły ścinające, zmiana właściwości materiałów itd., stają się dla budowli szkodliwe i przyspieszają jej destrukcję.

Zastosowanie nowych metod i rozwiązań do renowacji murów – „lanca iniekcyjna”

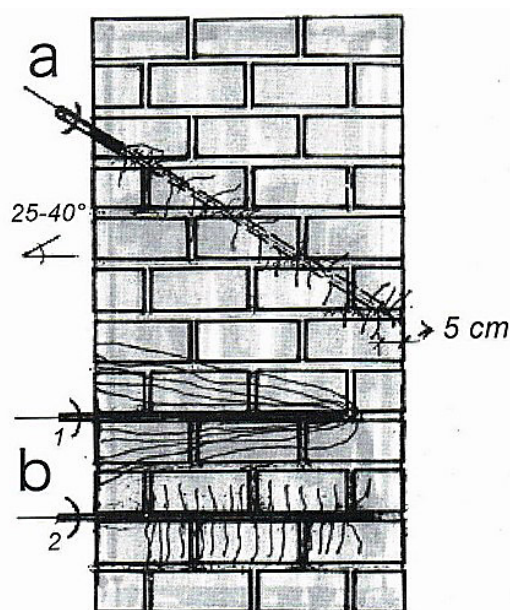
W Polsce istnieje wiele firm zagranicznych reklamujących swoje wyroby jako skuteczne w wykonywaniu zabiegu likwidującego „efekt kapilarnego podciągania wody”. Proponowane są dwie metody wprowadzania środka w głąb muru za pomocą iniekcji. Pierwsza to tzw. metoda grawitacyjna, polegająca na wprowadzaniu grawitacyjnym. Przy jej realizacji mówi się, że nasycanie muru powinno trwać co najmniej 8–24 godzin. Druga to tzw. metoda ciśnieniowa, polegająca na wprowadzaniu środka przez tzw. pakery (zamiennie używane jest określenie „dysze ciśnieniowe wielokrotnego użytku”). Tłoczenie odbywa się za pomocą pompy i przebiega pod odpowiednim ciśnieniem. Zabieg wykonuje się według zalecenia, że tłoczenie należy zakończyć, gdy pod wpływem środka uwidocznią się cylindryczne obszary nasyczonego muru wokół odwiertów. Sposób wykonania odwiertów zależy od wybranej metody i od grubości murów. I tak: w wypadku murów o grubości ponad 0,6 m (metoda grawitacyjna) lub 1,0 m (metoda ciśnieniowa) oraz w narożach wiercenie należy wykonać z obu stron. W wypadku murów zabytkowych jest to jednak często niewykonalne. W przyziemiach grubości murów są z reguły większe, często też nie ma możliwości dostępu do muru z jego obu stron, np. z powodu głębokiego posadowienia. W takich sytuacjach stosowanie wspomnianych metod nie spełni wymaganych warunków konserwacji. Dodatkowym utrudnieniem dla inwestora jest to, że wykonawca zawsze może odwołać się do treści karty technicznej, w której autorzy danej technologii wspominają o konieczności wykonania „zabiegów dodatkowych”. Są to przede wszystkim:

required for a historic building after dehumidification, and the impact of this process on its fixtures and fittings. The process should help to achieve humidity conditions that will not cause adverse changes to the historic building. Particular attention should be paid to the fact that dehumidifying a historic building or any other structure is not merely a matter of rapidly removing moisture, which is not always the sole or primary objective. Rapid dehumidification can cause adverse effects, as the physical and chemical changes that occur—such as stresses, deformations, shear forces, and changes in material properties—can harm the building and accelerate deterioration.

Use of new methods and solutions for wall restoration – the “injection lance”

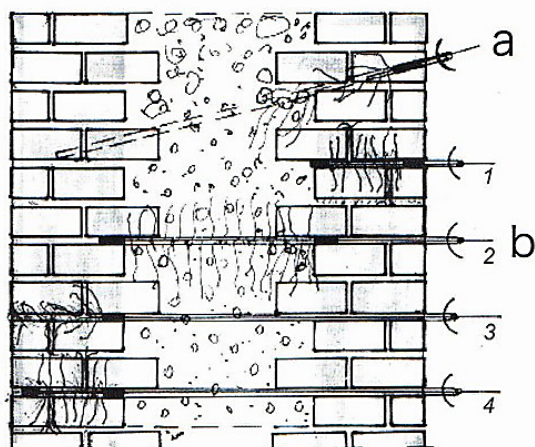
In Poland, many foreign companies advertise products as effective for eliminating the “capillary water-drawing effect.” Two methods are proposed for injecting the treatment deep into the wall. The first is the so-called gravity method, which involves injection by gravity. When carrying out this method, the wall should be left to soak for at least 8–24 hours. The second is the so-called pressure method, which involves introducing the agent via so-called packers (the term “reusable pressure nozzles” is also used interchangeably). Injection is carried out with a pump at the appropriate pressure. The procedure follows the recommendation to stop injection when, under the influence of the treatment agent, cylindrical areas of saturated wall become visible around the boreholes. The borehole drilling method depends on the chosen method and the wall thickness. Specifically: for walls thicker than 0.6 m (gravity method) or 1.0 m (pressure method), and in corners, drilling must be carried out from both sides. However, this is often not feasible for historic walls. In ground floors, wall thicknesses are generally greater, and it is often not possible to access the wall from both sides, e.g. due to deep foundations. In such situations, the aforementioned methods will not meet the required conservation conditions. An additional difficulty for the client is that the contractor can always refer to the technical data sheet, in which the developers of the technology in question mention the need to carry out “additional measures.” These primarily include applying restoration plaster, waterproofing external sections in contact with the ground, and installing drainage in accordance with standard recommendations (alternatively, installing internal “tub-type” waterproofing and rectifying any technical or structural defects in the building). Of course, such a wide scope of work is often impossible to carry out, not only for financial reasons, but above all because of the building’s surroundings and the associated technical difficulties.

It should also be borne in mind that opting not to carry out so-called “additional measures” reduces or completely removes the chosen company’s liability for the results of the insulation work. At the same time,



Ryc. 1. Wykonanie iniekcji w murze pełnym: a) tradycyjnymi iniektorami – pakierami, b) nową lancą iniekcyjną; wszystkie ryciny opracowane przez autora

Fig. 1. Injection into solid masonry: a) using traditional packer injectors, b) using a new injection lance; all figures prepared by the author

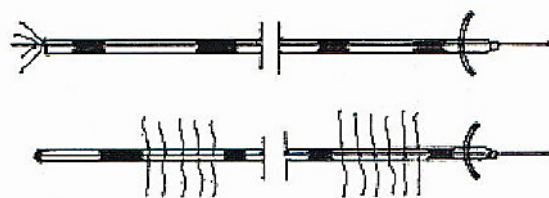


Ryc. 2. Wykonanie iniekcji w murze warstwowym: a) tradycyjnymi iniektorami – pakierami, b) nową lancą iniekcyjną

Fig. 2. Injection into layered masonry: a) using traditional packer injectors, b) using a new injection lance

nałożenie tynku renowacyjnego, uszczelnienie pionowe zewnętrznych części stykających się z ziemią oraz wykonanie drenażu zgodnie z zaleceniami normowymi (alternatywnie wykonanie wewnętrznych izolacji typu wannowego i usunięcie ewentualnych usterek techniczno-budowlanych obiektu). Oczywiście tak szeroki zakres prac bardzo często jest niemożliwy do wykonania nie tylko ze względów finansowych, ale przede wszystkim z uwagi na otoczenie obiektu i związane z tym trudności techniczne.

Należy wziąć pod uwagę i to, że rezygnacja z wykonania tzw. zabiegów dodatkowych zmniejsza lub całko-



Ryc. 3. Zasada działania lancy iniekcyjnej – sposoby podawania roztworu iniekcyjnego i rozmieszczenia nasadek uszczelniających

Fig. 3. Principle of operation of the injection lance – methods of administering the injection grout and positioning the sealing caps



Ryc. 3. Różne długości lancy iniekcyjnej zestawiane w trakcie pracy

Fig. 3. Different lengths of injection lances used during the work

it must be noted that when using injection packers, the appearance of a cylindrical saturated zone around the wall does not necessarily mean that saturation has occurred along the entire length of the wall around a drilled hole whose depth is 5 cm less than the thickness of the wall (measured in the plane of the drill holes).

Practical experience has shown that, often, where there are no cavities, gaps, or cracks in the wall and the wall is homogeneous, the grout tends to spill out through the rear wall of the borehole (5 cm thick, corroded wall) or the agent seeps out through the front wall beforehand—this becomes visible around the

wicie znosi odpowiedzialność wybranej firmy za efekty wykonanej izolacji. Jednocześnie trzeba stwierdzić, że przy zastosowaniu pakarów uzyskanie uwidocznienia się cylindrycznego obszaru nasyczonego wokół muru wcale nie oznacza, że nastąpiło nasycenie na całej długości muru wokół otworu nawierconego o głębokości odwiertu o 5 cm mniejszej od grubości muru (mierzonej w płaszczyźnie odwiertów).

Praktyka wykazała, że często w sytuacji, gdy w murach nie występują kawerny, szczeliny i pęknięcia oraz gdy mur jest jednorodny, występuje zjawisko wylewania się środka iniekcyjnego przez tylną ścianę otworu (5 cm grubości, ściana skorodowana) lub środek wcześniej wypływa przez ścianę przednią – uwidacznia się wokół odwiertów. Natomiast w wypadku muru warstwowego lub gdy mur ma kawerny, pęknięcia i szczeliny, efekt tak przeprowadzonych zabiegów zazwyczaj jest mało skuteczny.

Wieloletnie doświadczenia w naprawianiu budowli oraz konserwacji zabytków zaowocowały wynalezieniem i opatentowaniem przez autora artykułu nowego osprzętu do iniekcji – tzw. lancy iniekcyjnej. Osprzęt ten ma wiele zalet, jest pozbawiony wad używanych dotychczas iniektorów oraz zapewnia wszechstronniejszą i skuteczniejszą iniekcję.

Zastosowanie i różnice w wykonywaniu iniekcji w murze pełnym i warstwowym tradycyjnymi iniektorami oraz nową lancą iniekcyjną przedstawiono na rycinach 1 i 2. Zasady działania lancy iniekcyjnej przedstawiono na rycinie 3.

Jednym ze sposobów naprawy i konserwacji budowli, zwłaszcza zabytkowych, jest iniekcja ciśnieniowa. Za jej pomocą, w zależności od użytego roztworu iniekcyjnego, można wykonać wiele zabiegów:

- izolację poziomą i pionową,
- hydrofobizację węgląbną,
- odsalanie,
- odgrzybianie,
- wzmacnianie.

Do wykonania iniekcji używane są:

- pompy,
- iniektory (pakery),
- akcesoria do pomp oraz węży iniekcyjnych.

Najczęściej stosowane są profesjonalne iniektory o długości od kilku do kilkunastu centymetrów i średnicy 12–14 mm. Podstawowe wady iniektorów to:

- mała długość;
- mała średnica zewnętrzna, a zatem mała długość wiertła;
- mały otwór przelotowy, który często ulega zatkanii;
- mały odcinek gumowej nasadki spęczniającej;
- nasadka gumowa wykonana z węża zbrojonego, która pęka przy większym spęcznieniu;
- konieczność pozostawienia iniektora w murze (tzw. iniektor tracony), co oznacza dodatkowy koszt, przy czym otwór nadal nie jest wypełniony zaprawą.

Zastosowanie lancy iniekcyjnej daje następujące udogodnienia:

- dowolna długość lancy – według potrzeb;
- zmienna średnica zewnętrzna;



Ryc. 4. Możliwości wykonywania iniekcji w murach na całej ich grubości

Fig. 4. The ability to carry out injections through the entire thickness of masonry walls

boreholes. However, in a layered wall or one with cavities, cracks, and gaps, such treatments are usually not very effective.

Many years of experience in building restoration and the conservation of historic monuments led the author of this article to invent and patent a new piece of injection equipment—the so-called injection lance. This equipment has many advantages, avoids the drawbacks of previously used injectors, and ensures a more versatile and effective injection process.

The application and differences in carrying out injections in solid and cavity walls using traditional injectors and the new injection lance are shown in Fig. 1 and 2. The operating principles of the injection lance are illustrated in Figure 3.

One method of repairing and maintaining buildings, particularly historic ones, is pressure grouting. Depending on the grouting solution used, this method can be employed for a wide range of treatments:

- horizontal and vertical waterproofing,
- deep-penetrating waterproofing,
- desalination,
- mold removal,
- reinforcement

The following are used to carry out the injection:

- pumps,
- injectors (packers),
- accessories for pumps and injection hoses.

The most commonly used injectors are professional ones, ranging in length from a few to over a dozen centimeters and with a diameter of 12–14 mm. The main drawbacks of injectors are:

- short length;
- small external diameter, and therefore short drill bits;
- small through-hole, which often becomes blocked;
- short section of rubber expansion sleeve; the rubber sleeve is made from reinforced hose, which ruptures when expanded too much;
- the need to leave the grout injector in the wall (a so-called “permanent grout injector”), which entails an additional cost, whilst the hole is still not filled with mortar.

- duży otwór przelotowy;
- odpowiednia do potrzeb długość wiertel;
- długość nasadki gumowej oraz możliwość rozmieszczenia jej w wymaganej odległości i ilości;
- nasadka gumowa nie jest zbrojona i ma duże możliwości spęszczania;
- możliwość podawania medium iniekcyjnego na końcu długości lancy lub w dowolnym jej miejscu;
- elementy lancy są powtarzalne i można je dowolnie montować w trakcie pracy;
- możliwość stosowania w murach wielowarstwowych bez uprzedniego ich uszczelniania zawieszinami;
- po zakończeniu iniekcji otwory są wypełniane zaprawą;
- możliwość zastosowania również w budowlach szachulcowych.

Wykonano wstępne badania laboratoryjne i praktyczne, częściowo na obiektach szachulcowych i konstrukcjach drewnianych. Po wykonaniu i uzupełnieniu dodatkowego osprzętowania stwierdzono pozytywne wyniki takich zabiegów, jak:

- odgrzybianie drewna,
- wzmacnianie drewna,
- zabezpieczanie drewna przed pożarem,
- zabezpieczanie drewna przed owadami – drewnojadami.

Wykonywanie iniekcji wymienionym osprzętem to nowy sposób wypełniania materiału substancją iniektującą. Dotychczas stosowano metodę polegającą na wtłaczaniu, wciskaniu substancji w dany materiał od strony zewnętrznej, przy czym substancja ta w trakcie iniekcji ulegała zwiększającemu się sprężaniu w tym materiale.

Nowy sposób polega na wtłaczaniu – wypychaniu – od środka substancji iniekcyjnej, która w trakcie zabiegu ulega postępującemu rozprężaniu w tym materiale. Substancja jest podawana aż do jej wypłynięcia na zewnątrz, co oznacza, że masa materiału została nasycona od miejsca wtłaczania aż do zewnętrznej powierzchni. Wielkość i kierunek przepływu substancji iniekcyjnej podlegają „prawu wytrzymałości łańcucha”, które brzmi: łańcuch jest tak wytrzymały, jak jego najsłabsze ogniwo. Dlatego wypełnianie materiału postępuje od jego najsłabszej strefy. Stosując odpowiednie zabiegi i zachowując ciągłość iniekcji, uzyskuje się wypełnienie materiału w zależności od wymaganej strefy. O innowacyjności metody lancy iniekcyjnej świadczy m.in.:

- wykonywanie jednocześnie różnorodnych zabiegów renowacyjnych w budowlach, szczególnie zabytkowych;
- uzyskanie efektów takich jak zabezpieczenie i naprawa obiektów posadowionych powyżej i poniżej gruntu, o ścianach pełnych i warstwowych (co do tej pory było prawie niewykonalne), a tym samym uratowanie wielu obiektów zabytkowych;
- znaczne obniżenie kosztów wykonywania tych zabiegów;
- potwierdzona skuteczność w budowlach zabytkowych, komunalnych, przemysłowych i hydrotechnicznych;

The use of an injection lance offers the following benefits:

- any lance length—as required;
- variable external diameter;
- large through-hole;
- drill bit lengths to suit requirements;
- length of the rubber sleeve and the option to position it at the required distance and in the required quantity;
- the rubber sleeve is not reinforced and has a high expansion capacity;
- the ability to feed the injection medium at the end of the lance or at any point along its length;
- the lance components are interchangeable and can be assembled as required during operation;
- can be used in multi-layered walls without prior sealing with slurries;
- once injection is complete, the holes are filled with mortar; can also be used in half-timbered structures.

Preliminary laboratory and practical tests have already been carried out, partly on half-timbered buildings and timber structures. Following the installation and completion of additional fittings, positive results were observed for treatments such as:

- mold removal from timber,
- timber reinforcement,
- fire protection for timber, protection against wood-boring insects.

Administering injections using the aforementioned equipment is a new method of filling a material with an injectable substance. Until now, the method involved forcing or pressing the substance into the material from the outside, subjecting it to increasing compression within the material during injection.

The new method involves forcing—or pushing—the injectable substance from the center, causing it to expand progressively within the material during the procedure. The substance is administered until it flows outward, saturating the material from the injection point to the outer surface. The volume and direction of the injectable substance's flow are governed by the “law of the chain's strength,” which states: a chain is only as strong as its weakest link. Therefore, the material fills from its weakest zone. By applying appropriate techniques and maintaining continuous injection, the material fills the required zone. The innovative nature of the injection lance method is demonstrated, amongst other things, by:

- the simultaneous performance of a variety of restoration works on buildings, particularly historic ones;
- achieving results such as the protection and repair of structures situated above and below ground, with solid and sandwich walls (which until now has been virtually impossible), thereby saving many historic buildings;
- a significant reduction in the costs of carrying out these treatments;

- szczególna przydatność metody w obiektach, które były zalane przez powódź (w tego typu przypadkach autor sugeruje podejmowanie w trakcie wykonywania izolacji metodą iniekcji ciśnieniowej działań współtowarzyszących, które podniosą efekt zabiegu i znacznie obniżą koszty naprawy obiektu).

Do wykonania przepony izolacyjnej należy stosować żełe akrylowe, gdyż są one łatwo usuwalne bez uszkodzenia powierzchni muru. Ponadto podnoszą jego wytrzymałość na ściskanie, a podczas wiązania akumulują w sobie znaczne ilości wody, w związku z czym zmniejsza się niebezpieczeństwo niekontrolowanego skurczu na skutek zbyt szybkiego wysychania obiektu.

W otworach iniekcyjnych i innych należy stosować tzw. zbrojenie Brutt Saver Profile według Brutt Technologies. Są to profilowane cięgna ze stali nierdzewnej (austenicznej) w gatunku 304 Cu. Charakterystyczną ich cechą jest specjalny helikoidalny (śrubowy) kształt. Zbrojenie umieszczone w poprzek pęknięć działa jak mocno napięta sprężyna i łączy uszkodzone części. Wytrzymałość takiego połączenia jest wielokrotnie większa od wytrzymałości naprawianego materiału, co dodatkowo zapobiega jego dalszym uszkodzeniom. Do wypełnienia otworów, pustek i kawern należy stosować technologię tzw. gorącej fugi, w której nie używa się cementu, a jedynie odpowiedniego wapna wraz z dodatkami [Kramarz 2004].

Zastosowanie wymienionych zabiegów wzmocni obiekt i zwiększy jego wytrzymałość w trakcie wysychania, podczas którego występują naprężenia osiadania, pęknięcia i inne zjawiska pojawiające się zawsze w budynkach podtopionych w trakcie powodzi.

Stosowanie tego rozwiązania w pełni potwierdziła jego skuteczność w budowlach zabytkowych, np. na Starym Mieście w Warszawie przy ul. Brzozowej, w budynku MOK-u w Słupsku nad rzeką Słupią, w budynkach komunalnych w wielu miastach Polski, w obiektach przemysłowych, takich jak kryty basen w Słupsku, w budowlach hydrotechnicznych, np. w elektrowni Strzegomino, w obiektach sakralnych oraz wielu innych.

Omawiana lanca iniekcyjna uzyskała:

- rawo ochronne nadane przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej;
- nagrodę II stopnia za nowe rozwiązania w dziedzinie techniki za rok 1996, nadaną przez Radę Wojewódzką Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych Naczelnej Organizacji Technicznej;
- pozytywne opinie rzeczoznawców Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego oraz rzeczoznawców do spraw hydrotechnicznych NOT;
- opinię Polskiego Towarzystwa Ochrony Zabytków Podziemnych HADES-Polska;
- dyplom „Za nowe rozwiązania w dziedzinie techniki za rok 2006”;
- wyróżnienie za pracę „Nowatorska technologia wykonywania iniekcji ciśnieniowej w materiałach budowlanych i budowlach”.

- proven effectiveness in historic, municipal, industrial and hydrotechnical structures;
- the method is particularly suitable for structures that have been flooded (in such cases, the author suggests undertaking accompanying measures whilst carrying out waterproofing using the pressure injection method, which will enhance the effectiveness of the treatment and significantly reduce the costs of repairing the structure).

Acrylic gels should be used to create an insulating layer, as they can be easily removed without damaging the masonry surface. Furthermore, they increase the masonry's compressive strength and, whilst setting, absorb significant amounts of water, thereby reducing the risk of uncontrolled shrinkage caused by the structure drying out too quickly.

In injection holes and other openings, use the so-called Brutt Saver Profile reinforcement from Brutt Technologies. These are profiled stainless steel (austenitic) tie rods of grade 304 Cu. Their distinctive feature is their special helical (screw-like) shape. When placed across cracks, the reinforcement acts like a highly tensioned spring and joins the damaged sections together. The strength of such a joint is many times greater than that of the material being repaired, which further prevents any further damage. To fill holes, voids, and cavities, the so-called “hot grout” technique should be used, in which no cement is employed, only suitable lime together with additives [Kramarz 2004].

Applying these measures reinforces the structure and increases its strength during the drying-out process, when settlement stresses, cracks, and other phenomena occur—phenomena that are always present in flooded buildings.

The effectiveness of this solution has been fully confirmed in historic buildings, for example in Warsaw's Old Town on Brzozowa Street, in the MOK building in Słupsk on the River Słupia, in municipal buildings in many Polish cities, in industrial facilities such as the indoor swimming pool in Słupsk, in hydrotechnical structures, such as the Strzegomino power station, in religious buildings and many others.

The injection lance in question has achieved:

- a protection right granted by the Patent Office of the Republic of Poland;
- a second-class award for new technical solutions for the year 1996, granted by the Provincial Council of the Federation of Scientific and Technical Associations of the Supreme Technical Organization;
- favorable opinions from experts appointed by the Minister of Culture and National Heritage and from NOT experts on hydrotechnical matters;
- an opinion from the Polish Society for the Protection of Underground Monuments (HADES-Polska);
- a diploma “For new solutions in the field of technology for the year 2006;” a distinction for the work “Innovative technology for pressure grouting in building materials and structures.”

¹ Autor jest absolwentem Wydziału Melioracji Wyższej Szkoły Rolniczej oraz Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej. Od 1983 r. kierował jedyną w kraju Pracownią Konserwacji Murów w Przedsiębiorstwie Państwowym Pracownie Konserwacji Zabytków, Oddział w Szczecinie, aż do jej likwidacji. Po likwidacji PP PKZ prowadzi własną działalność zawodową, specjalizując się w kompleksowym zabezpieczaniu obiektów zabytkowych, budowli technicznych i hydrotechnicznych. Zakres jego działalności obejmuje naprawę, ochronę, konserwację oraz renowację tych obiektów.

¹ The author is a graduate of the Faculty of Land Improvement at the Higher School of Agriculture and the Faculty of Architecture at the Warsaw University of Technology. In 1983, he became the head of the country's only Wall Conservation Workshop at the State Enterprise for the Conservation of Historic Monuments, Szczecin Branch, until its closure. Following the closure of the State-Owned Monuments Conservation Workshops, he has been running his own business, specializing in the comprehensive conservation of historic buildings, technical structures and hydrotechnical structures. His work encompasses the repair, protection, maintenance and restoration of these structures.

Bibliografia / References

Opracowania / Secondary sources

Ferens Jan, *Fizyczne aspekty chemicznych iniekcji przeciwwilgociowych*, referat z sympozjum „Osuszanie budynków...”, Wrocław, 25 listopada 1989 r.
 l'Anson, Stephen J., Hoff William D., *Chemical injection remedial treatments for rising damp – I. The interaction of damp-proofing fluids with porous building materials*, „Building and Environment” 1988, t. 23, nr 3.

Klin Stefan, Kramarz Karol, *Metody iniekcji ciśnieniowej, fizyczne i techniczne aspekty ich zastosowania w inżynierii budowlanej*, [w:] *Problemy remontowe substancji mieszkaniowej. Referaty, materiały z V Wrocławskiej Konferencji Naukowo-Technicznej*, Szklarska Poręba 1990.
 Kramarz Karol, *Izolacje poziome i pionowe w budowlach, wykonywane metodą iniekcji ciśnieniowej – nowa technologia*, „Ochrona Zabytków” 2004, nr 3/4.

Streszczenie

Artykuł był prezentowany podczas 2. edycji międzynarodowej konferencji European Culture Commonwealth 2023 (EuCuComm 2023) „Sposób użytkowania kościołów w Europie po ich desakralizacji” (27–29 września 2023, Lubań, Polska – Jauernick, Niemcy). Autor przedstawia nową metodę wykonywania zabiegów naprawczych w obiektach budowlanych z wykorzystaniem iniekcji ciśnieniowej. Polega ona na zastosowaniu nowej technologii wykonywania iniekcji ciśnieniowej „od wewnątrz” z użyciem opatentowanego przez autora urządzenia, tzw. lancy iniekccyjnej. Zastosowanie tego rozwiązania w praktyce w pełni potwierdziło jego skuteczność, co zostało udokumentowane pozytywnymi opiniami rzeczoznawców i właściwych instytucji.

Abstract

The article was presented at the 2nd edition of the international conference European Culture Commonwealth 2023 (EuCuComm 2023) on “The use of churches in Europe following their deconsecration” (September 27–29, 2023, Lubań, Poland, and Jauernick, Germany). The author presents a new method for repairing building structures using pressure grouting. It involves applying a new technology for pressure grouting “from the inside” using a device patented by the author, known as an injection lance. The practical application of this solution has fully confirmed its effectiveness, as evidenced by positive assessments from experts and the relevant authorities.