

**Analiza skuteczności przepon  
wykonywanych metodami iniekcji  
chemicznej w murach z opoki wapnistej.  
Część II.  
Wykonywanie i badanie skuteczności  
przepon chemicznych w murach z opoki**

**Maciej Trochonowicz**

*Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury,  
Politechnika Lubelska, e-mail: m.trochonowicz@pollub.pl*

**Streszczenie:** Uzyskane pozytywne wyniki hydrofobizacji opoki i zaprawy wapiennej pozwoliły na rozszerzenia zakresu badań. Zdecydowano o przeprowadzeniu prób wykonania przepony metodą iniekcji w murach. Ze względu na trudność przeprowadzenia badań polowych zdecydowano o wzniesieniu murów w laboratorium. Po okresie sezonowania w trzech murach badawczych wykonano trzy warianty przepon chemicznych. Do iniekcji użyto preparatu wyselekcjonowanego w pierwszym etapie badań. Kolejnym etapem było sprawdzenie skuteczności wytworzonych przepon.

**Słowa kluczowe:** izolacje, przepony chemiczne, preparaty hydrofobizujące, opoka wapnista.

## **1. Wprowadzenie**

Badania nad skutecznością preparatów do hydrofobizacji wgłębnej prowadzone były w Polsce w kilku ośrodkach. Wśród najważniejszych należy wymienić Politechniki Krakowską, Wrocławską i Warszawską oraz Wojskową Akademię Techniczną. Na przestrzeni lat prowadzono próby z zastosowaniem szeregu metod oceny głębokości penetracji preparatów i skuteczności efektu hydrofobizacji. Promień penetracji próbowano badać za pomocą ultradźwięków, przy zastosowaniu porozymetrii rtęciowej oraz metodami elektrochemicznymi. [2] Kontrolę szczelności przepon miała umożliwiać metoda pomiaru ciepła zwilżenia. [1] W praktyce w większości przypadków metody te nigdy nie znalazły szerszego zastosowania. W chwili obecnej pomimo pojawienia się na rynku szeregu nowych preparatów, badania na dużą skalę nie są kontynuowane.

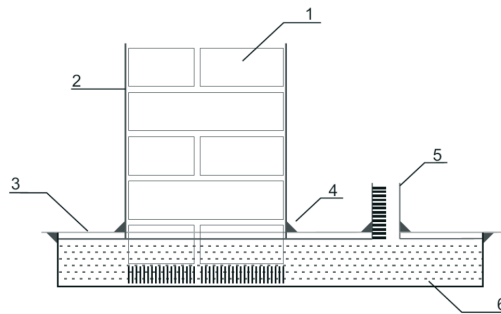
Zdecydowanie lepiej wygląda sytuacja związana z badaniami nad skutecznością preparatów stosowanych do hydrofobizacji powierzchniowej. W większości przypadków są to materiały o wysokim poziomie merytorycznym i opracowane kompleksowo. Badania prowadzone są przez Zakład Konserwacji Elementów i Detali Architektonicznych UMK w Toruniu, Instytut Chemii Przemysłowej w Warszawie, Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie, oraz szereg ośrodków akademickich na terenie całego kraju.

## 2. Metodyka badań

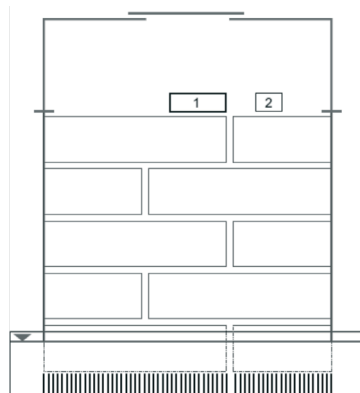
Ze względu na objętość opracowania autor zdecydował się jedynie na krótką charakterystykę metod badania skuteczności preparatów stosowanych do iniekcji wgłębnych. Najwyższy poziom merytoryczny mają metodyki badań opisane w niemieckiej instrukcji WTA 4-4-04 oraz badania prowadzone przez Politechnikę Krakowską.

### 2.1. Badania WTA 4-4-04

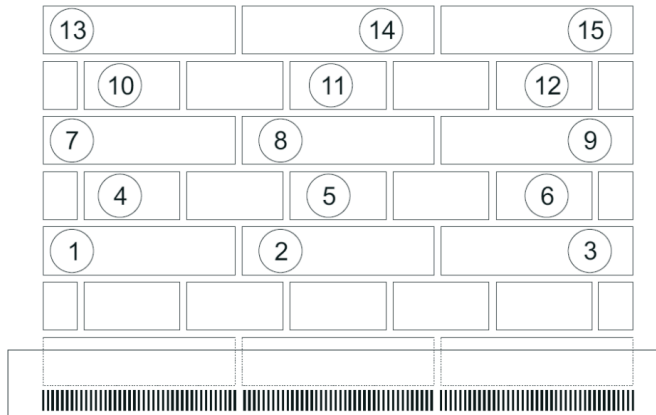
W instrukcji WTA 4-4-04 [6] zawarto informacje dotyczące wykonywania iniekcji i oceny skuteczności w murach zawilgoconych. Zgodnie z nią prowadzone są badania przede wszystkim w Niemczech, w Polsce nie jest ona stosowana obowiązkowo. Z analizy autora wynika, że na dzień dzisiejszy jest to jedno z najlepszych opracowań traktujących o przeponach wykonywanych metodami iniekcji. W instrukcji zamieszczono szereg informacji oraz metod badań dotyczących nie tylko skuteczności preparatów ale także ich trwałości w czasie. Jest to o tyle istotne, że w literaturze przedmiotu dotychczas problem trwałości raczej pomijano. Poniżej zamieszczone zostało streszczenie metodyki badań zgodnie z WTA 4-4-04.



Rys. 1. Schemat sposobu badania skuteczności preparatu do iniekcji przez pomiar ilości objętości wody odparowanej z powierzchni przekroju poprzecznego próbki. 1- murek, 2- powłoka paroszczelna, 3- zbiornik z zamknięciem, 4-uszczelnienie, 5- cylinder pomiarowy z podziółką, 6 - woda. Rys. na podstawie [6].



Rys. 2. Schemat sposobu badania skuteczności preparatu do iniekcji przez pomiar ilości odparowanej wilgoci. 1 – pojemnik z żelazem pobierającym wilgoć z otoczenia, 2- rejestrator parametrów cieplno-wilgotnościowych. Rys. na podstawie [6].



Rys. 3. Schemat sposobu badania skuteczności preparatu do iniekcji przez pomiar wilgotności za pomocą mikrofal. Usytuowanie punktów pomiarowych. Rys. na podstawie [6].

Badania narzucają konieczność wzniesienia murów testowych i prowadzone są dla trzech przedziałów przesiąknięcia wilgocią tzw. DFG. Instrukcja zaleca prowadzenie badań dla DFG równego 60%, 80% oraz 95%. Badania skuteczności preparatu iniekcyjnego wymagają wykonania trzech testowych murków. W dwóch prowadzi się iniekcje, trzeci ma charakter porównawczy. WTA szczegółowo definiuje wymogi odnośnie cegieł i zapraw użytych do wykonania murów. [6] Określono dwa kryteria, które muszą być spełnione w trakcie badań certyfikacyjnych: wilgotność masowa murów po 90 dniach od wykonania iniekcji musi, w stosunku do trzeciej próbki, spaść przynajmniej o 50 %, wilgotność muru porównawczego nie może wzrastać w czasie przeprowadzania badań.

Każdy z trzech murów testowy musi składa się z 7 warstw cegieł. Grubość spoin poziomych musi wynosić 12 mm, a pionowych 10 mm. Pierwszą warstwę cegieł układa się na specjalnym ruszcie umożliwiającym przemieszczanie muru. Murki należy sezonować przez minimum 28 dni w temperaturze 23°C przy 50% wilgotności względnej powietrza. Następnie wykonuje się odwierty, tak aby nie zostały uszkodzone spoiny. Otwory wykonuje się w jednym lub dwóch rzędach, poziomo lub pod kątem (maksymalnie 45°). Stosuje się rozstaw osiowy otworów od 10 do 12,5 cm. Po wykonaniu otworów wewnątrz należy odpylić. Iniekcję wykonuje się, zgodnie z danymi producenta preparatu iniekcyjnego.

Skuteczność wykonanej przepony określana jest jedną z trzech metod:

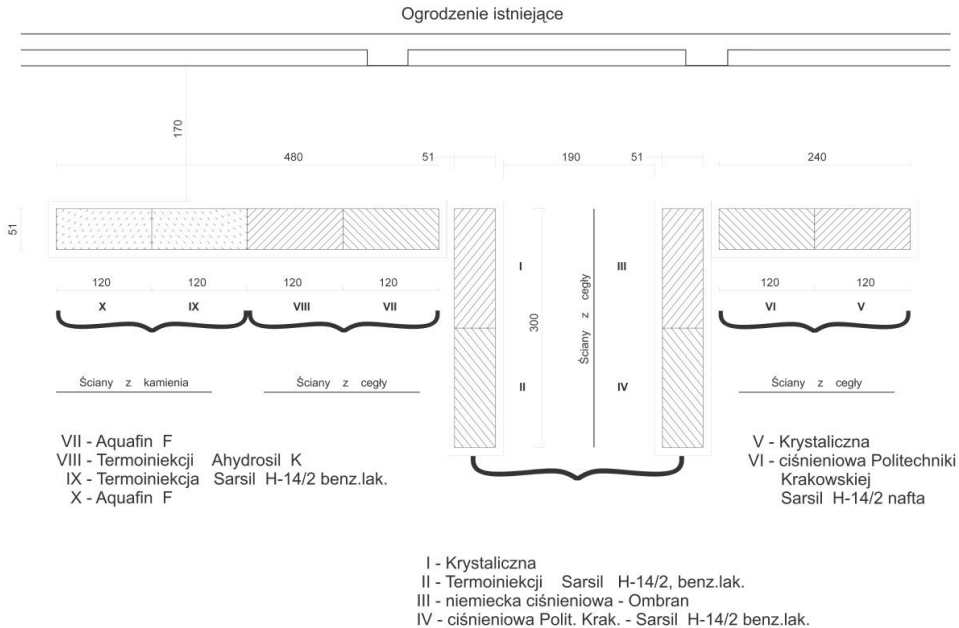
- pomiar ilości objętości wody odparowanej z powierzchni przekroju poprzecznego próbki,
- pomiar ilości odparowanej wilgoci,
- pomiar wilgotności za pomocą mikrofal. [6]

## 2.2. Badania metodą Politechniki Krakowskiej

W latach 1992-1994 Politechnika Krakowska, w ramach umowy z Komitetem Badań Naukowych prowadziła prace badawcze, których celem była analiza skuteczności metod osuszania. Prace podzielono na trzy etapy, w których badano skuteczność technologii w obiektach eksploatowanych, na próbkach w laboratorium oraz na

ścianach doświadczalnych. Badania dotyczyły preparatów i technologii, które obecnie w znacznej części nie są już stosowane. Dodatkowym problemem przy próbie adaptacji metodyki badań (Politechniki Krakowskiej) jest fakt, że badań tych nie ukończono i uzyskanie końcowych wyników było niemożliwe. Ze względu na to, autor zdecydował się na przytoczenie jedynie sposobu badań dla ścian doświadczalnych.

Badanie miało na celu sprawdzenie przydatności różnych metod osuszania w specjalnie stworzonych warunkach. Wzniesiony został zespół murów doświadczalnych w których wykonano iniekcje różnymi metodami. Szkic ścian i stosowanych technologii zamieszczono na rys. 4. [3]



Rys. 4. Szkic sytuacyjny ścian doświadczalnych i zastosowane metody osuszania. Rys. na podstawie [3].

Badania skuteczności preparatów wykonano metodą tradycyjną, pobierając próbki w dwóch pionach na długości każdego muru. Materiał do badań pozyskiwano za pomocą odwiertów rdzeniowych oraz w postaci zwierzyny, od strony odwiertów iniekcyjnych. Próbki pobierano na głębokości 20 cm, pod przeponą, w przeponie i 15cm nad przeponą. Na pobranych próbkach oznaczono nasiąkliwość. Na podstawie opracowanych wyników końcowych można domniemywać, że o skuteczności przepony miał świadczyć stosunek wilgotności pod przeponą do wyników nad przeponą. [3]

W dostępnych materiałach brak jest informacji dotyczących sposobu nasączenia murów wodą, wstępnej wilgotności materiału podczas iniekcji oraz czasu sezonowania przed przystąpieniem do badań.

### 3. Badania własne

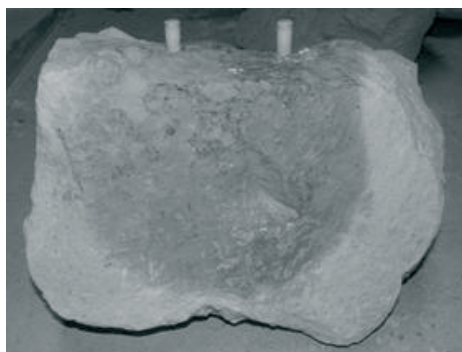
Uzyskane pozytywne wyniki hydrofobizacji opoki i zaprawy[5] wapiennej wymusiły konieczność rozszerzenia zakresu badań. Zdecydowano o przeprowa-

dzeniu prób wykonania przepony metodą iniekcji w murach. Ze względu na brak możliwości przeprowadzenia badań polowych zdecydowano o wzniesieniu murów w Laboratorium Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej. W uprzednio wykonanych wannach wzniesione zostały trzy murki badawcze. Wykonano je z opoki pochodzącej z Kazimierza Dolnego nad Wisłą na zaprawie wapiennej. Ze względu na pochodzenie rozbiórkowe, kamień użyty do murów nie wymagał sezonowania. Z powodu długiego czasu wiązania spoiwa wapiennego murki poddano karbonizacji i sezonowano przez okres 12 miesięcy.

### 3.1. Badania możliwości wykonania iniekcji w blokach wielkowymiarowych z opoki

W murach z opoki wapnistej stosunkowo często wykorzystywano duże bloki kamienne. W ramach prowadzonych badań polowych autor spotykał się z ciosami o długości nawet ponad 1 metra. Wmurowywano je najczęściej w pasie przyziemi, czyli na wysokości wykonywania przepony. Zgodnie z literaturą przepona powinna być prowadzona w pasie spoin. Ze względu na ich gabaryty (brak możliwości obejścia spoinami) zachodziłaby konieczność wykonywania przynajmniej dwóch otworów w jednym bloku. Skłoniło to autora, w ramach badań przedwstępnych do wykonania serii iniekcje w dużych blokach kamiennych. Otwory wywiercono w linii najdłuższego boku kamienia. Na podstawie wcześniejszych wyników, promienia nasycenia opoki, przyjęto rozstaw otworów 12 cm. Procesowi hydrofobizacji poddano 6 bloków kamiennych. Po trzy z dwoma i trzema otworami w linii. Zastosowano iniektory jednorazowe z tworzywa sztucznego. Tłoczenie prowadzono naprzemiennie we wszystkich otworach. Po upływie miesiąca bloki zostały przecięte na pile stołowej. Następnie zmierzono uzyskane promienie nasączenia opoki preparatem.

We wszystkich próbkach promień penetracji wynosił powyżej 6 cm. Osiągnięte wyniki nie odbiegały od uzyskanych wcześniej, w próbkach z jednym otworem.



Rys. 5. Blok opoki po procesie tłoczenia preparatu. Widok z boku.



Rys. 6. Strefa hydrofobizowanej opoki przy tłoczeniu preparatu dwoma otworami w rozstawie 12 cm.

### 3.2. Wykonanie murów z opoki

W celu zbadania skuteczności przepony chemicznej na murach z opoki wapnistej zostały wykonane trzy mury doświadczalne o wymiarach 150 cm x 120 cm x

50 cm. Do wzniesienia murów wynajęto murarzy z Bochohnicy (gmina Kazimierz Dolny), specjalizujących się w obróbce i wznoszeniu murów z kamienia. Mury zostały wzniesione z opoki na zaprawie wapiennej w proporcji 1:1,5 (wapno-piasek). Zostało użyte wapno suchogaszone CL90, wcześniej poddane zabiegowi zlasowania oraz piasek drobnoziarnisty płukany o frakcji mniejszej niż 2mm. Murki doświadczalne wykonano w wannach z blachy ocynkowanej, obłożonej szczelnie folią budowlaną. Mury zostały wykonane w temperaturze 15°C i wilgotności 45%.

W celu przyspieszania wiązania w murach poddano je procesowi karbonizacji. Wykonano szczelne kołnierze z folii budowlanej, założono na mury doświadczalne, następnie powtórnie uszczelniono. Do środka kołnierzy wpuszczono dwutlenek węgla, po czym otwór wlotowy zamknięto. Proces karbonizacji prowadzono przez 60 dni cyklicznie uzupełniając stężenie gazu.



Rys. 7. Proces wznoszenia murów.



Rys. 8. Widok ukończonych 3 murów z przyjętą do badań numeracją.

### 3.3. Iniekcja murów

Na podstawie wcześniej wykonanych badań zdecydowano, że we wszystkich murach zastosowany zostanie ten sam preparat (emulsja silikonowa – najlepsze

wyniki w badaniach wstępnych). Przepony wykonano z zastosowaniem trzech technologii. W murze nr 1 wykonano iniekcje dwustronną, w murze nr 2 iniekcje jednostronną z wypełnieniem rys i spękań zaprawą na bazie trasu, a w murze nr 3 iniekcje jednostronną. Iniekcje wykonano zgodnie z informacjami zawartymi w instrukcji WTA 4-4-04 [6] oraz informacjami zawartymi w karcie produktu.

Biorąc pod uwagę wyniki badań promieni hydrofobizacji zaprawy wapiennej i opoki, przyjęto 10-12cm rozstaw otworów. W celu zapewnienia równoległości odwiertów przygotowano stelaż pod młotowiertarką. Zwiercina z otworów posłużyła do ustalenia poziomu wilgotności muru na wysokości przepony. Badania były niezbędne do przyjęcia stężenia emulsji silikonowej. Badanie wilgotności przeprowadzono metodą grawimetryczną.[4] We wszystkich murach odnotowano porównywalne zawilgocenie w granicach 15-20%.

Następnie otwór został dokładnie oczyszczony sprężonym powietrzem. Czyszczenie odwiertów miało na celu wyeliminowanie możliwości wymieszania preparatu z pyłem, a w rezultacie uszczelnienia otworu i zahamowania procesu iniekcji. Podczas prac iniekcyjnych zastosowano iniektory plastikowe z główką płaską, o średnicy 12-14 mm. Iniektory zostały wbite w otwory iniekcyjne przy pomocy pobijaka z tworzywa sztucznego. Do iniekcji użyto pompy pneumatyczną DITTMANN Uniprese D2 napędzaną kompresorem. W murach nr 1 i 2 tłoczono do momentu, w którym materiał przy maksymalnym dopuszczalnym ciśnieniu (10 bar) nie przyjmował preparatu. Podczas badań kontrolowano zużycie emulsji silikonowej.

W murze nr 2 wykonano doszczelnienie rys i spękań zaprawą trasową o podwyższonej zdolności do samopłynięcia. Zaprawę pompowano przy pomocy pompy membranowej Uniprese D2. Tłoczenie zawiesiny odbywało się przy ciśnieniu do 3 bar. Podyktowane to było chęcią wypełnienia pustek i kawern bez doszczelnienia porów zaprawy w spoinach. Jako koniec procesu wypełniania uznawano moment w którym pompa przestawała tłoczyć zaprawę albo kiedy dochodziło do wycieków zaprawy ze spękań. Po stwardnieniu zaprawy otwory zostały przewiercone jeszcze raz wiertłem o średnicy 14mm. Zastosowanie większej średnicy wiertła podyktowane było koniecznością całkowitego usunięcia trasu z otworów. Zachodziła (podyktowana wynikami badań) obawa, że tras w otworach uniemożliwi migrację preparatu. Po oczyszczeniu sprężonym powietrzem w otworach zamontowano iniektory plastikowe z główką płaską i rozpoczęto tłoczenie.

Tabela 1. Zestawienie parametrów charakteryzujących iniekcje w murach z opoki wapnistej.

Nr muru	Rodzaj iniekcji	Liczba otworów iniekcyjnych	Ciśnienie [bar]	Stężenie preparatu	Powierzchnia muru [m <sup>2</sup> ]	Ilość preparatu [l]	Zużycie na 1m <sup>2</sup>
1	Dwustronna	31	1-10	1:10	0,79	19,9	25
2	Jednostronna z wypełnieniem	15	1-8	1:10	0,75	20	27
3	Jednostronna	15	1-5	1:10	0,85	20,5	24

We wszystkich trzech murach proces tłoczenia preparatu zakończył się powodzeniem. Stosowane ciśnienia nie odbiegały od przyjętych dla technologii iniekcji emulsją silikonową, a rzeczywiste zużycie preparatu mieściło się w zakresie zalecanym przez producenta.

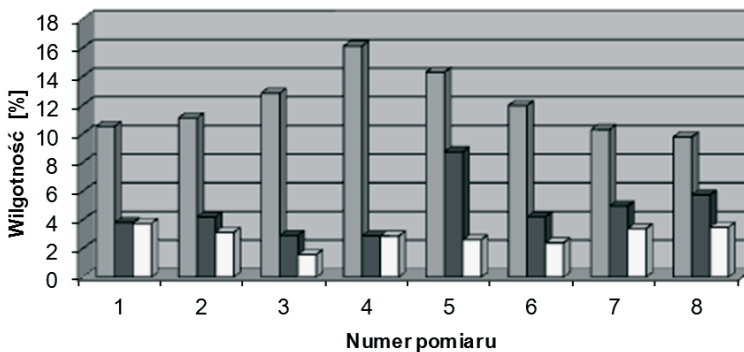
### 3.4. Badanie skuteczności przepony chemicznej w murze z opoki

Po przeprowadzeniu iniekcji odczekano 14 dni do czasu wbudowania preparatu w strukturę materiału. Następnie zalano wodą wanny, w których znajdowały się murki w celu sprawdzenia szczelności wykonanej przepony. Po okresie czterdziestu dni pobrano próbki do określenia poziomu zawilgocenia muru. Próbki zaprawy pobrano w trzech rzędach: pod przeponą, w pasie przepony oraz nad przeponą. Próbki opoki odwiercono w dwóch rzędach: pod przeponą oraz nad przeponą. Badania wykonano metodą grawimetryczną.[4]

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów wilgotności opoki i zaprawy wapiennej po wykonaniu iniekcji w murze nr 1.

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Wilgotność [%]									
Wilgotność zaprawy wapiennej w murze nr 1 od strony a									
1	15cm pod przeponą	10,5	11,1	12,8	16,1	14,3	12,0	10,3	9,8
2	w poziomie przepony	3,8	4,2	2,9	2,9	8,7	4,2	5,0	5,7
3	15cm nad przeponą	3,8	3,1	1,6	2,9	2,6	2,4	3,4	3,5
Wilgotność opoki wapiennej w murze nr 1 od strony a									
1	10cm pod przeponą	17,1	23,3	23,0	22,5	23,9	21,9	15,6	12,1
2	10cm nad przeponą	9,1	6,1	4,3	6,7	7,0	6,5	6,7	5,3
Wilgotność zaprawy wapiennej w murze nr 1 od strony b									
1	15cm pod przeponą	12,8	11,3	11,3	10,8	10,3	10,0	9,3	8,6
2	w poziomie przepony	4,9	7,9	7,4	4,7	2,5	4,4	2,0	6,5
3	15cm nad przeponą	1,9	5,9	1,7	2,3	1,2	1,7	2,2	5,5
Wilgotność opoki wapiennej w murze nr 1 od strony b									
1	10cm pod przeponą	23,2	22,5	21,0	20,0	18,5	16,5	14,9	14,4
2	10cm nad przeponą	6,0	7,9	5,7	7,3	7,3	6,7	3,4	5,1

Rozkład wilgotności muru nr. 1a w zaprawie wapiennej

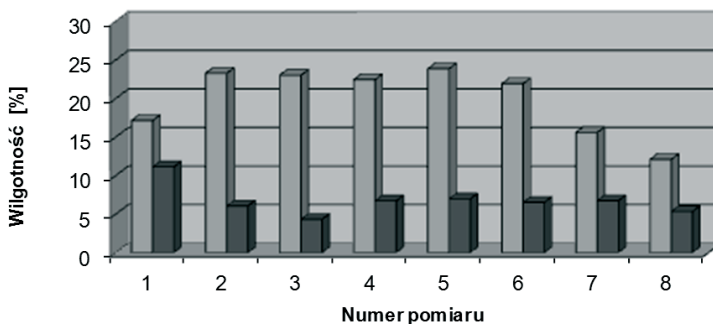


Wykres: 1- 15cm pod przeponą 2 - w poziomie przepony 3 - 15cm nad przeponą

Rys. 9. Rozkład wilgotności muru 1 a pod przeponą, w poziomie przepony i nad przeponą w zaprawie wapiennej po wykonaniu przepony.



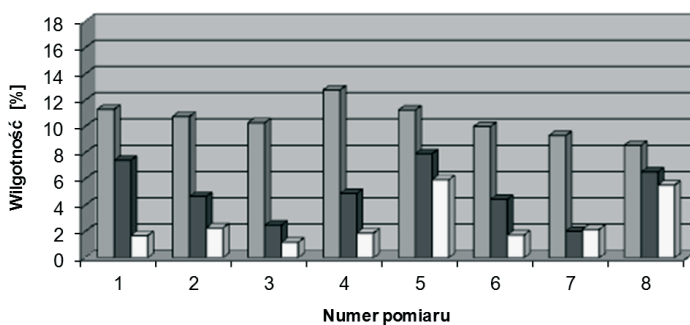
**Rozkład wilgotności muru nr. 1a w opoce wapińskiej**



**Wykres: 1- 10cm pod przeponą 2 - 10cm nad przeponą**

Rys. 10. Rozkład wilgotności muru 1 a pod i nad przeponą w opoce wapińskiej po wykonaniu przepony.

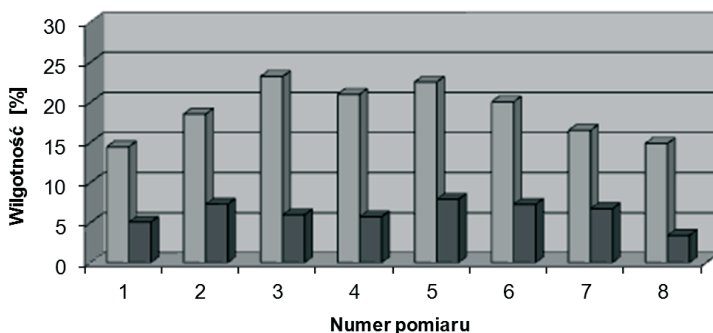
**Rozkład wilgotności muru nr. 1b w zaprawie wapiennej**



**Wykres: 1- 15cm pod przeponą 2 - w poziomie przepony 3 - 15cm nad przeponą**

Rys. 11. Rozkład wilgotności muru 1 b pod przeponą, w poziomie przepony i nad przeponą w zaprawie wapiennej po wykonaniu przepony.

**Rozkład wilgotności muru nr. 1b w opoce wapińskiej**



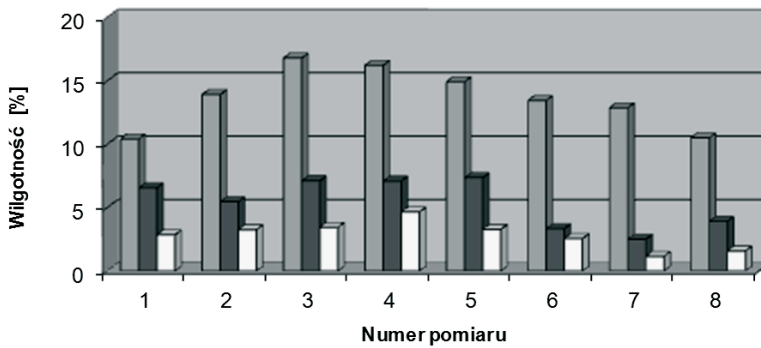
**Wykres: 1- 10cm pod przeponą 2 - 10cm nad przeponą**

Rys. 12. Rozkład wilgotności muru 1 b pod i nad przeponą w opoce wapińskiej po wykonaniu przepony.

Tabela 3. Zestawienie wyników pomiarów wilgotności opoki i zaprawy wapiennej po wykonaniu iniekcji w murze nr 2.

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Wilgotność [%]									
Wilgotność zaprawy wapiennej w murze nr 2									
1	15cm pod przeponą	10,4	13,9	16,8	16,2	14,9	13,5	12,9	10,5
2	w poziomie przepony	6,6	5,5	7,1	7,1	7,4	3,3	2,5	3,9
3	15cm nad przeponą	2,9	3,3	3,4	4,7	3,3	2,6	1,2	1,6
Wilgotność opoki wapiennej w murze nr 2									
1	10cm pod przeponą	21,8	21,6	22,1	26,2	23,4	18,9	18,9	17,0
2	10cm nad przeponą	12,3	9,2	6,7	11,9	6,2	14,2	7,7	5,7

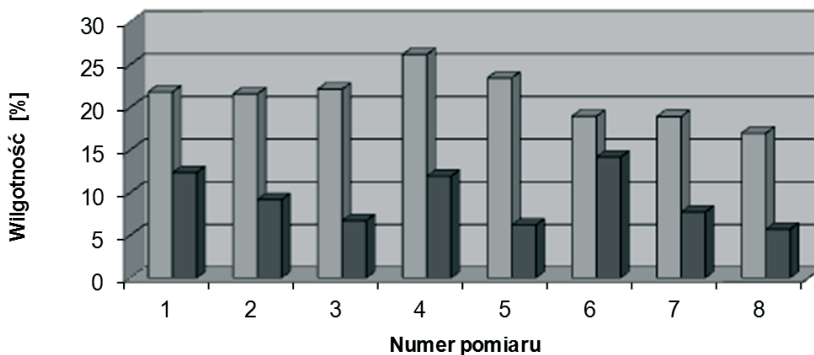
### Rozkład wilgotności muru nr. 2 w zaprawie wapiennej



Wykres: 1- 15cm pod przeponą 2 - w poziomie przepony 3 - 15cm nad przeponą

Rys. 13 Rozkład wilgotności muru nr 2 pod przeponą, w poziomie przepony i nad przeponą w zaprawie wapiennej po wykonaniu przepony.

### Rozkład wilgotności muru nr. 2 w opoce wapiennej



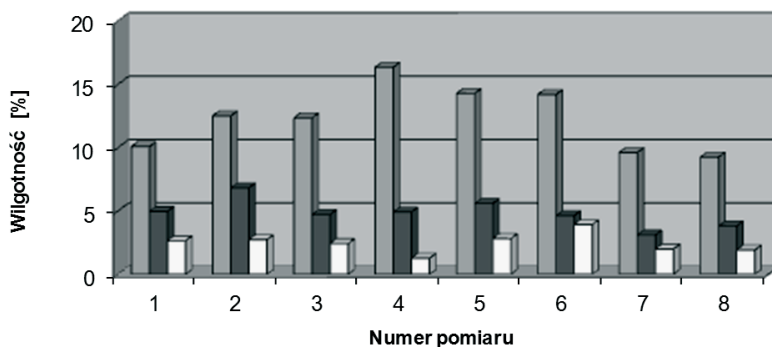
Wykres: 1- 10cm pod przeponą 2 - 10cm nad przeponą

Rys. 14. Rozkład wilgotności muru nr 2 pod i nad przeponą w opoce wapiennej po wykonaniu przepony.

Tabela 4. Zestawienie wyników pomiarów wilgotności opoki i zaprawy wapiennej po wykonaniu iniekcji w murze nr 3.

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Wilgotność [%]									
Wilgotność zaprawy wapiennej w murze nr 3									
1	15cm pod przeponą	10,1	12,5	12,4	16,4	14,3	14,2	9,6	9,3
2	w poziomie przepony	5,0	6,8	4,7	4,9	5,6	4,6	3,1	3,8
3	15cm nad przeponą	2,7	2,7	2,4	1,3	2,8	3,9	2,0	1,9
Wilgotność opoki wapienstej w murze nr 3									
1	10cm pod przeponą	15,7	16,0	17,8	21,3	20,0	19,4	15,7	15,6
2	10cm nad przeponą	9,0	9,6	5,4	11,6	12,5	9,1	8,3	8,1

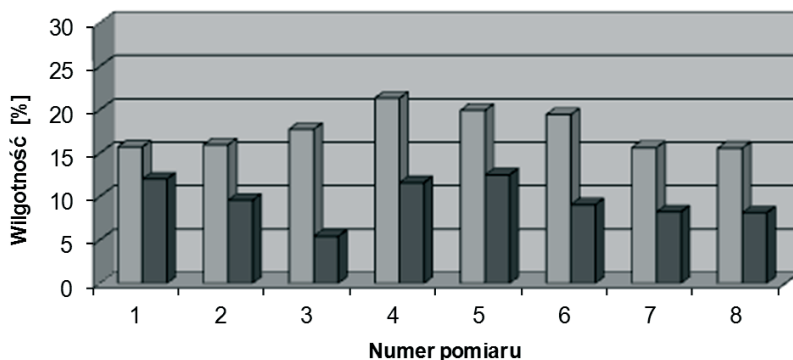
**Rozkład wilgotności muru nr. 3 w zaprawie wapiennej**



**Wykres: 1- 15cm pod przeponą 2 - w poziomie przepony 3 - 15cm nad przeponą**

Rys. 15. Rozkład wilgotności muru 3 pod przeponą, w poziomie przepony i nad przeponą w zaprawie wapiennej po wykonaniu przepony.

**Rozkład wilgotności muru nr. 3 w opoce wapienstej**



**Wykres: 1- 10cm pod przeponą 2 - 10cm nad przeponą**

Rys. 16. Rozkład wilgotności muru 3 pod i nad przeponą w opoce wapienstej po wykonaniu przepony.

Na podstawie średnich wartości wilgotności muru (Tabela 2, 3 i 4) obliczono procentowy spadek zawilgocenia muru powyżej przepony w odniesieniu do wartości poniżej przepony.

Tabela 5. Procentowy spadek wilgotności w zaprawie wapiennej.

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer muru		
		1	2	3
% spadek wilgotności				
1	15cm pod przeponą	-	-	-
2	w poziomie przepony	57	60	61
3	15cm nad przeponą	75	79	80

Tabela 6. Procentowy spadek wilgotności w opoce wapnistej.

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer muru		
		1	2	3
% spadek wilgotności				
1	10cm pod przeponą	-	-	-
3	10cm nad przeponą	67	56	46

Niniejsze badania przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych na murach z opoki miały na celu sprawdzenie skuteczności przepony chemicznej wykonanej preparatem na bazie emulsji silikonowej. Przeprowadzone badania udowodniły, że wykonane przepony zatrzymały transport kapilarny wody, mimo utrzymywania stałego poziomu wody w pojemnikach.

Po 40 dniach od wykonania przepony we wszystkich murach odnotowano spadek zawilgocenia o około 50%. Zgodnie z wspomnianą instrukcją WTA 4-4-04[6] potwierdza to skuteczność preparatu na bazie emulsji silikonowej w tego typu murach. W momencie badania do wymaganych 90 dni pozostało jeszcze 50, można przyjąć, że spadek wilgotność ulegnie powiększeniu.

#### 4. Wnioski dotyczące badań na murach z opoki wapnistej

- W przypadku wszystkich wariantów wykonania izolacji metodą iniekcji niskociśnieniowej z użyciem emulsji silikonowej wytworzono skuteczną przeponę.
- Obserwacje podczas iniekcji oraz wyniki badań wykazały przewagę iniekcji obustronnej w odniesieniu do pozostałych dwóch wariantów (minimalizacja ucieczki preparatu oraz możliwość stosowania wyższych ciśnień).
- W przypadku stosowania iniekcji jednostronnej w związku z niejednorodnością w budowie murów z opoki wapnistej (kawerny, szczeliny) mury wymagają doszczelnienia.
- Doszczelnienia otworów trasem może powodować utrudnienia w tłoczeniu preparatów hydrofobizujących. Rozwiązaniem jest podawanie trasy przy minimalnym ciśnieniu (zdolność do samopłynięcia gwarantuje wypełnienie pustek i kawern), a następnie rozwieranie otworów wiertłem o większej średnicy. Innym rozwiązaniem jest podawanie zaprawy trasowej drugim rzędem otworów poniżej planowanej przepony.

- Uzyskanie roboczego ciśnienia powyżej 5 bar było możliwe jedynie podczas iniekcji dwustronnej oraz w murze doszczelnionym.
- Zużycie preparatu na 1m<sup>2</sup> było zgodne z zaleceniami podanym w karcie technicznej (20-30l).

## Literatura

- [1] Nawrot W. *Metoda kontroli szczelności przepon hydrofobowych w zawilgoconych murach*. Przegląd Budowlany 10,11/1983.
- [2] Nawrot W. *Sposób osuszania budowli z wilgoci podciąganej z gruntu metoda iniekcji krystalicznej*. Przegląd Budowlany 6/1987.
- [3] Pieniążek Z., Szaśadek S., Królak E. *Analiza i ocena skuteczności stosowanych metod osuszania ścian*. Inżynieria i Budownictwo 9/1995.
- [4] PN-EN ISO 12570 *Ciepłno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie wilgotności przez suszenie w podwyższonej temperaturze*.
- [5] Trochonowicz M. *Analiza skuteczności przepon wykonywanych metodami iniekcji chemicznej w murach z opoki wapnistej – Część I Badania możliwości wytworzenia przepony w opoce wapnistej i zaprawach* Budownictwo i Architektura 11 (2012) 99-112.
- [6] WTA 4-4-04 *Mauerwerksinjektionen gegen kapillare Feuchtigkeit*.

## The efficacy analysis of the diaphragms made using the method of chemical injection in the walls of calcareous stones.

### Part II.

## Testing the possibility of producing chemical injection in the walls of calcareous stones and in the lime mortars

Maciej Trochonowicz

*Chair of Historic Buildings Preservation, Faculty of Civil Engineering and Architecture,  
Lublin University of Technology, e-mail: m.trochonowicz@pollub.pl*

**Abstract:** The obtained positive results of calcareous stone and lime mortar hydrophobisation allowed to expand the scope of research. It was decided to conduct a membrane trial implementation by injection in the walls. Because of the difficulty in field tests it was decided to elevated walls in the laboratory. After a period of aging three variants of chemical membranes was performed in the three research walls. For injection was used the preparation selected in the first step of tests. The next stage of work was verifying the effectiveness of made membranes.

**Keywords:** insulation, chemical diaphragm, waterproofing formulations, calcareous stone.

