

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Konserwacji Zabytków



Rozprawa doktorska

**ANALIZA SKUTECZNOŚCI PRZEPON WYKONYWANYCH
METODAMI INIEKCJI CHEMICZNEJ W MURACH Z OPOKI**

Autor: mgr inż. Maciej Trochonowicz

Promotor

dr hab. inż. Bogusław Szmygin, prof. PL

Lublin 2011

Panu

Dr hab. inż. Bogusławowi Szmyginowi. Prof. PL

serdeczne podziękowania za życzliwą pomoc oraz
cenne wskazówki przy pisaniu niniejszej pracy

składa autor

SPIS TREŚCI

1.	GENEZA PRACY	8
1.1.	CELE PRACY	9
1.2.	TEZY	9
2.	ANALIZA LITERATUROWA	10
3.	WILGOTNOŚĆ – INFORMACJE PODSTAWOWE	12
3.1.	ZAWILGOCENIE MATERIAŁÓW I PRZEGRÓD BUDOWLANYCH.....	12
3.1.1.	Formy występowania wilgoci w materiałach budowlanych.....	13
3.1.2.	Mechanizmy i modele ruchu wilgoci w materiałach budowlanych.....	18
3.1.3.	Parametry charakteryzujące strukturę materiałów budowlanych	24
3.2.	BADANIA BEZPOŚREDNIE WILGOTNOŚCI MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH	29
3.2.1.	Metoda laboratoryjna – grawimetryczna	29
3.2.2.	Wytyczne do pobierania materiału	30
3.2.3.	Badania własne – Wpływ techniki poboru próbek na wynik badania wilgotności.....	32
3.3.	METODY POŚREDNIE BADANIA WILGOTNOŚCI	35
3.3.1.	Metody elektryczne	37
3.3.2.	Metoda chemiczna.....	39
3.3.3.	Charakterystyka pośrednich metod pomiarowych.....	40
3.3.4.	Badania własne – Kalibracja urządzeń pomiarowych	42
3.4.	ŹRÓDŁA ZAWILGOCENIA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH	44
3.5.	NEGATYWNE SKUTKI ZAWILGOCENIA BUDYNKU	51
4.	INIEKCJE	60
4.1.	INIEKCJE CHEMICZNE – INFORMACJE PODSTAWOWE	60
4.1.1.	Historia stosowania iniekcji.....	61
4.1.2.	Podział metod ze względu na działanie preparatu	64
4.1.3.	Podział metod pod względem wartości ciśnienia.	66
4.2.	PREPARATY HYDROFOBOWE.....	69
4.2.1.	Związki krzemooorganiczne – Informacje ogólne i podział.....	69
4.2.2.	Typy preparatów stosowanych do iniekcji hydrofobizujących.....	73
4.3.	TECHNOLOGIE WYKONYWANIA IZOLACJI METODAMI INIEKCJI.....	78
4.3.1.	Analiza metod iniekcyjnych ze względu na stosowane ciśnienie.....	81
4.3.2.	Analiza metod ze względu na średnicę i rozstaw otworów.	81
4.4.	URZĄDZENIA DO WYKONYWANIA INIEKCJI.....	82
4.4.1.	Pompy.....	83
4.4.2.	Iniektory	86
4.4.3.	Kompresory	89
4.4.4.	Wiertnice, wiertarki	89

4.4.5.	Osprzęt dodatkowy	89
4.4.6.	Ocena sprzętu do iniekcji	91
4.5.	Podsumowanie.....	95
5.	OPOKA.....	96
5.1.	ZŁOŻA OPOKI W POLSCE	97
5.2.	OPOKA JAKO MATERIAŁ BUDOWLANY.....	100
5.2.1.	Zalety opoki.....	101
5.2.2.	Wady opoki	102
5.3.	BUDOWNICTWO Z OPOKI NA TERENIE LUBELSZCZYZNY	103
5.3.1.	Elementy murowe z opoki.....	103
5.3.2.	Budownictwo z opoki.....	107
5.3.3.	Badania obiektów z opoki.	111
6.	METODYKA BADAŃ	112
7.	PROGRAM BADAŃ WŁASNYCH.....	117
8.	BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW PRZED HYDROFOBIZACJĄ.....	119
8.1.	CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO – MECHANICZNYCH OPOKI	119
8.2.	BADANIA STRUKTURY OPOKI.....	122
8.2.1.	Mikroskopia optyczna	122
8.2.2.	Analiza składu mineralnego opoki metodą XRD (Rentgenowska analiza fazowa) oraz metodą termiczną DTA/TG	123
8.2.3.	SEM -Skaningowa Mikroskopia Elektronowa	124
8.3.	CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO - MECHANICZNYCH ZAPRAW	126
8.3.1.	Przygotowanie próbek do badań.....	126
8.3.2.	Oznaczanie cech fizyko - mechanicznych stwardniałych zapraw.	127
9.	HYDROFOBIZACJA MATERIAŁÓW.....	131
9.1.	DOBÓR PREPARATÓW HYDROFOBIZUJĄCYCH	131
9.2.	PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO INIEKCJI HYDROFOBIZUJĄCEJ	134
9.3.	PROCES HYDROFOBIZACJI MATERIAŁÓW	135
9.3.1.	Opoka	136
9.3.2.	Zaprawy.....	137
9.4.	WSTĘPNE BADANIA SKUTECZNOŚCI HYDROFOBIZACJI MATERIAŁÓW	139
9.4.1.	Opoka	139
9.4.2.	Zaprawy.....	142
9.5.	CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO – MECHANICZNYCH OPOKI PO HYDROFOBIZACJI.....	145
9.5.1.	Przygotowanie próbek.....	146

9.5.2.	Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie.....	147
9.5.3.	Oznaczenie nasiąkliwość wodą	147
9.5.4.	Oznaczenie kapilarnego podciągania	152
9.5.5.	Odporność na zamarzanie.....	154
9.5.6.	Odporność na krystalizację soli.....	157
9.5.7.	Badanie zasolenia	164
9.6.	BADANIA STRUKTURY OPOKI PO HYDROFOBIZACJI.....	165
9.6.1.	Metoda sorpcji par azotu – badanie tekstury	165
9.6.2.	SEM (Skaningowa Mikroskopia Elektronowa) – zmiana struktury po hydrofobizacji..	168
9.6.1.	Wnioski dotyczące badań opoki po hydrofobizacji	169
9.7.	CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO – MECHANICZNYCH ZAPRAW PO HYDROFOBIZACJI.....	170
9.7.1.	Przygotowanie próbek	170
9.7.2.	Oznaczanie nasiąkliwości.....	171
9.7.3.	Oznaczanie kapilarnego podciągania	171
9.7.4.	Oznaczanie kapilarnego podciągania przez pomiar wilgotności masowej	173
9.7.5.	Wnioski dotyczące badań w zaprawach	176
10.	HYDROFOBIZACJA MURÓW	177
10.1.	BADANIA MOŻLIWOŚCI WYKONANIA INIEKCJI W BLOKACH WIELKOWYMIAROWYCH Z OPOKI	177
10.2.	WYKONANIE MURÓW Z OPOKI.....	179
10.3.	BADANIE SZYBKOŚCI PODCIĄGANIA KAPILARNEGO NA MURACH Z OPOKI..	180
10.4.	INIEKCJA MURÓW	183
10.5.	BADANIE SKUTECZNOŚCI PRZEPONY CHEMICZNEJ W MURZE Z OPOKI.....	186
10.6.	WNIOSKI DOTYCZĄCE BADAŃ NA MURACH Z OPOKI WAPNISTEJ	189
11.	WNIOSKI KOŃCOWE	190
12.	BIBLIOGRAFIA.....	192
13.	ZAŁĄCZNIKI.....	205
13.1.	ZAŁĄCZNIK 1 - KARTY PRODUKTÓW	205
13.2.	ZAŁĄCZNIK 2 – BADANIA OBIEKTÓW.....	216
13.3.	ZAŁĄCZNIK 3 – OPOKA - BADANIA CECH FIZYKO - MECHANICZNYCH.....	229
13.3.1.	Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie.....	229
13.3.2.	Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie	231
13.3.3.	Oznaczanie odporności na ścieranie	233
13.3.4.	Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym	234
13.3.5.	Oznaczanie gęstości pozornej.....	236
13.3.6.	Oznaczanie gęstości metodą piknometryczną	237

13.3.7. Oznaczenie otwartej porowatości i szczelności.....	239
13.4. ZAŁĄCZNIK 4 – ZAPRAWY - BADANIA CECH FIZYKO - MECHANICZNYCH.....	241
13.4.1. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie rozciąganie	241
13.4.2. Oznaczenie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym.....	245
13.4.3. Oznaczenie kapilarnego podciągania	248
13.4.1. Oznaczenie gęstości pozornej.....	251
13.4.2. Oznaczenie gęstości metodą piknometryczną	253
13.4.3. Oznaczenie otwartej porowatości i szczelności.....	255
13.5. ZAŁĄCZNIK 5 – CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO – MECHANICZNYCH OPOKI PO HYDROFOBIZACJI	256
13.5.1. Oznaczenie kapilarnego podciągania.	256
13.5.2. Oznaczenie odporności na zamarzanie	285
13.5.3. Badanie zasolenia	294
13.6. ZAŁĄCZNIK 6 – CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO – MECHANICZNYCH ZAPRAW PO HYDROFOBIZACJI.....	296
13.6.1. Oznaczenie nasiąkliwości.....	296
13.6.2. Oznaczenie kapilarnego podciągania	302
13.6.3. Oznaczenie kapilarnego podciągania przez pomiar wilgotności masowej	307
13.7. ZAŁĄCZNIK 7 - HYDROFOBIZACJA MURÓW.....	312
13.7.1. Badanie szybkości podciągania kapilarnego na murach z opoki wapnistej.....	312
13.7.2. Badanie wilgotności przed wykonaniem przepony	315
13.7.3. Badanie skuteczności przepony chemicznej w murze z opoki	316
14. ZAŁĄCZNIK – ANALIZA STATYSTYCZNA.....	319
14.1. ANALIZA ZALEŻNOŚCI STATYSTYCZNYCH POMIĘDZY WILGOTNOŚCIĄ I POROWATOŚCIĄ OPOKI, CIŚNIENIEM INIEKCJI, A PROMIENIEM PENETRACJI 319	
14.1.1. Dane i arkusz kalkulacyjny.....	320
14.1.2. Sprawdzenie warunku normalności rozkładów	320
14.1.1. Sprawdzenie warunku jednorodności wariancji	323
14.1.1. Sprawdzenie braku korelacji pomiędzy zmiennymi niezależnymi.....	324
14.1.1. Wyznaczenie zależności regresyjnej pomiędzy promieniem penetracji i wilgotnością..	325
14.1.1. Sprawdzenie warunku autokorelacji cząstkowej reszt.....	325
14.2. ANALIZA ZALEŻNOŚCI STATYSTYCZNYCH POMIĘDZY WILGOTNOŚCIĄ, CIŚNIENIEM INIEKCJI, ILOŚCIĄ PREPARATU, A PROMIENIEM PENETRACJI W ZAPRAWACH WAPIENNYCH.....	329
14.2.1. Dane i arkusz kalkulacyjny.....	329
14.2.2. Sprawdzenie warunku normalności rozkładów	330
14.2.3. Sprawdzenie warunku jednorodności wariancji i braku korelacji pomiędzy zmiennymi niezależnymi.....	332

14.2.4. Wyznaczenie zależności regresyjnej pomiędzy promieniem penetracji i wilgotnością..	332
14.2.5. Sprawdzenie warunku autokorelacji cząstkowej reszt.....	332
14.3. ANALIZA ZALEŻNOŚCI STATYSTYCZNYCH POMIĘDZY WILGOTNOŚCIĄ ZAPRAWY WAPIENNEJ, CIŚNIENIEM INIEKCJI, ZUŻYCIEM PREPARATU, A PROMIENIEM PENETRACJI.....	334
14.3.1. Dane i arkusz kalkulacyjny.....	334
14.3.2. Obliczenie istotności różnic między grupami A i C dla poszczególnych właściwości opoki testem t-Studenta.....	335

1. GENEZA PRACY

Na terenie makroregionu lubelskiego obiekty zabytkowe i tradycyjne z wykorzystaniem opoki stanowią dość znaczny procent. Rozwój budownictwa z tego materiału powodowany był dostępnością materiału, łatwością w jego pozyskaniu i obróbce oraz dość wysoką estetyką kamienia. Duże znaczenie miała również stosunkowo wysoka izolacyjność cieplna murów z opoki.

Na przestrzeni wieków rozwinęło się wiele ośrodków, gdzie znaczna część zabudowy powstała z tego materiału. Oczywiście najbardziej znanymi są Kazimierz nad Wisłą i Janowiec, należy jednak pamiętać, że z opoki budowano również w miejscowościach na wschód i południe od Lublina (Piaski, Trawniki, Biskupice, Gardzienice itp.). Obiekty wzniesione całkowicie lub częściowo z tego kamienia spotkać można również w Lublinie. Z surowca o podobnej budowie powstawały również obiekty na terenie Zamojszczyzny.

Pomimo szeregu istotnych zalet, opoki mają niestety również wady. Największą z nich jest podatność na destrukcyjne działanie wody. Wpływ ten jest związany ze specyficznym charakterem materiału. Przy bardzo wysokiej porowatości materiał wykazuje stosunkowo dużą nasiąkliwość i wysoką kapilarność. Dodatkowo przy wysokim zawilgoceniu drastycznie obniża się wytrzymałość kamienia na ściskanie (do 50 %).

Wszystko to powoduje konieczność właściwego zabezpieczania obiektów z opoki przed działaniem wód gruntowych i opadowych. Wykonywanie izolacji w obiektach istniejących jest zagadnieniem trudnym technologicznie i kosztownym. O ile technologia wykonywania izolacji pionowych w istotny sposób nie różni się od technologii stosowanych w obiektach nowo wznoszonych, to dość dużym problemem jest izolacja pozioma.

Ze względu na: niejednorodność, niską wytrzymałość i dużą szerokość murów, stosowanie sprawdzonych i skutecznych metod mechanicznych w większości przypadków jest niemożliwe. Alternatywą staje się, więc wykorzystanie przepon chemicznych wykonywanych metodą iniekcji.

Stan wiedzy na temat możliwości stosowania iniekcji chemicznych w opoce jest niezadowalający. Wynika to przede wszystkim z lokalności jego stosowania. Firmy oferujące preparaty do wykonywania tego typu izolacji, skupiają się raczej na murach wykonanych z materiałów szeroko stosowanych w budownictwie. Oferowane środki nie zostały przebadane

pod kątem możliwości ich zastosowania w tak nietypowym i jak się okazuje, "trudnym" materiale.

W związku z tym, niezwykle istotnym jest przeprowadzenie badań, które pozwolą na odpowiedź, czy jest możliwe wykonanie przepon w murach z opoki, oraz jak powinna zostać dobrana technologia ich wykonania.

1.1. CELE PRACY

1. Dobór środków iniekcyjnych skutecznych w opoce i zaprawie.
2. Określenie parametrów wilgotnościowych muru warunkujących możliwość wykonania przepony.
3. Ustalenie parametrów technologicznych iniekcji (ciśnienie, rozstaw otworów).

1.2. TEZY

1. Promień penetracji iniektu w opoce zależy od rodzaju preparatu oraz jej wilgotności i porowatości.
2. Skuteczność hydrofobizacji zapraw zależy od ich porowatości i wilgotności oraz ciśnienia i ilości preparatu.
3. Istnieje możliwość ustalenia optymalnych parametrów technologicznych gwarantujących skuteczność iniekcji w murach z opoki na zaprawie wapiennej.

2. ANALIZA LITERATUROWA

Przyjęta tematyka pracy wymusiła konieczność wykonania stosunkowo szerokiej analizy literaturowej. W sumie na przestrzeni kilku lat, autor zapoznał się z ponad 300 pozycjami. Znaczna część z nich okazała się na tyle istotna, że pozwoliła na wyraźne poszerzenie wiedzy przed rozpoczęciem badań i uniknięcie szeregu błędów podczas ich prowadzenia.

Z racji ilości i szerokości zagadnień poruszanych w pracy, zdecydowano o podziale części literaturowej na trzy duże rozdziały. Kolejno były to zagadnienia wilgotnościowe, technologie i materiały stosowane przy iniekcji oraz opoka występująca na terenie Lubelszczyzny.

Ze zdecydowanie największą ilością materiałów źródłowych, udało się autorowi zapoznać podczas kwerendy literaturowej poświęconej zagadnieniom wilgotnościowym. Tematyką tą od wielu lat zajmuje się znaczna część ośrodków naukowych w kraju i zagranicą. W opracowaniu rozdziału szczególnie pomocnymi były prace: J. Adamowskiego [3][4], F. Frossel [37], J. Hoły [45][47], J. Jasieński [50][53], P. Klemm[18][60], E. Królaka[67], W. Płońskiego [113], J.A. Pogorzelskiego [115], M Rokiela [122], S. Skibińskiego [129][130], J. Wyrwał [157][158].

Przyjęto podział rozdziału „Wilgotność- Informacje podstawowe” na szereg podrozdziałów. Omówiono w nich kolejno tematykę: zawilgocenia materiałów i przegród budowlanych, mechanizmów i modeli ruchu wilgoci, metodykę badań bezpośrednich i pośrednich wilgotności oraz źródła i negatywne skutki zawilgocenia obiektów budowlanych. Część rozdziału dotyczącego badań pośrednich uzupełniono o wyniki badań własnych autora.

Drugi z rozdziałów literaturowych, a czwarty w pracy, poświęcono tematyce iniekcji. W kolejnych podrozdziałach opisano: podziały metod, charakterystyki preparatów, technologii oraz urządzeń stosowanych przy wykonywaniu przepon. Z zebranych i analizowanych materiałów największą ilość stanowią poświęcone technologiom wykonywania iniekcji. Niestety jakość większości nie jest najlepsza, ponieważ w większości dostępne materiały mają charakter reklamowy lub są kryptoreklamowy. Autor spotykał się również wielokrotnie z drukowaniem tych samych materiałów pod zmienionymi tytułami. Kolejnym problemem jest „wiekowość” najlepszych opracowań. Publikowane wyniki rzetelnych badań, skuteczności działania przepon wykonywanych metodami iniekcji pochodzą z przed 20 i więcej lat. Jest to szczególnie istotne

w związku z faktem, że ponad 90% metod i preparatów wyszła z użycia. Pomimo tych krytycznych uwag, na temat dostępnej literatury, kilkanaście pozycji okazało się niezwykle wartościowymi. W pracy wykorzystano opracowania: J. Adamowskiego [5][2], D. Czernego [23], T. Domina [32][31], F. Frossel [37], Z. Pieniążka [31], J. Hoły [46][47], J. Jasieńki [46][47], Z. Matkowskiego [2], K. Kramarza [64][65][66], E. Królaka [67], W. Nawrota [86][87][88], J. Olifierowicza [97][98][99][100], M. Rokiela [123], R. Wójcika [146][147][148].

Wyraźnie lepiej wygląda sytuacja związana z jakością artykułów i publikacji traktujących o związkach chemicznych stosowanych do wykonywania iniekcji. W większości przypadków są to materiały o wysokim poziomie merytorycznym i opracowane kompleksowo. Zastrzeżeń nie budzi również czas ich powstania. Podrozdział oparto na publikacjach: J. Łukaszewicz [75][76][77][78], W. Domasłowskiego [27][28][29], J. Ciabacha [21], L. Czarneckiego [22], T. Jasińskiego [54] i R. Krzywobłockiej – Laurów [69][70]. Dane techniczne preparatów stosowanych w iniekcjach pochodziły z materiałów firmowych.

Ze zdecydowanie najmniejszą ilością pozycji literaturowych mamy do czynienia w przypadku trzeciego rozdziału literaturowego, a piątego pracy, poświęconego opoce. Ilość i jakość materiałów źródłowych, dotyczących tematyki skał i ich wykorzystania, nie budzi zastrzeżeń. Problemem jest natomiast niewielka ilość i „wiekowość” opracowań dotyczących samej opoki (kilka pozycji). Związane to jest z regionalnym charakterem skały, oraz jego raczej historycznym znaczeniem w budownictwie. W opracowaniu rozdziału wykorzystano m.in. materiały: A. Bolewskiego [14][15], W. Parachoniaka [15], W. Skalmowskiego, M. Kamińskiego [55], S. Kozłowskiego [63], Z. Krzowskiego [68][118], U. Wójtowicz [68], K. Pożaryskiej i W. Pożarskiego [116], E. Osieckiej [103], S. Oterman [105], Z. Brogowskiego [16]. W rozdziale tym zamieszczono najwięcej materiałów własnych autora. Powstały one na podstawie badań *in situ* prowadzonych w złożach i na obiektach wzniesionych z opoki

3. WILGOTNOŚĆ – INFORMACJE PODSTAWOWE

3.1. ZAWILGOCENIE MATERIAŁÓW I PRZEGRÓD BUDOWLANYCH

Woda jest substancją warunkującą możliwość wykonania praktycznie wszystkich procesów budowlanych. Niezbędna jest zarówno do produkcji materiałów oraz ich wbudowania. Jednocześnie ta sama woda, a raczej jej nadmiar, jest czynnikiem powodującym największe zagrożenie dla obiektów budowlanych. Wprowadzana na wiele sposobów z czasem staje się przyczyną wielu niekorzystnych zjawisk, a jej usunięcie poważnym problemem. Występuje w różnych stanach skupienia (stały, ciekły, gazowy) w postaci opadów deszczu, śniegu, mgły, wody gruntowej itp., a obiekty takie jak baseny, kanały, zapory są przez cały czas swojej eksploatacji narażone na jej szkodliwy wpływ. Zatem główne zagrożenie dla budynków stanowi woda (pod różnymi postaciami) oraz rozpuszczalne sole. Stąd też stan wilgotnościowy przegród budowlanych ma istotne znaczenie [18][37].

Przez stan wilgotnościowy przegród budowlanych rozumie się aktualny rozkład przestrzenny wilgoci w przegrodzie i tendencje przewidywanych zmian, tj. następujące wysychanie materiałów z wilgoci technologicznej i budowlanej, czy też okresowe lub postępujące zawilgocenie, a więc całokształt przebiegu procesów związanych z zawilgoceniem i wysychaniem materiałów w przegrodach budowlanych w wyniku:

- początkowej wilgotności materiałów związanej z ich wytwarzaniem,
- przyrostu wilgotności spowodowanego takimi etapami wykonawstwa jak: transport, składowanie, stosowanie zaprawy lub betonu do łączenia komponentów,
- wysychania przegród do otaczającego powietrza,
- zawilgocenia w wyniku opadów atmosferycznych,
- przyrostu wilgotności w przegrodach w wyniku oddziaływania czynników eksploatacyjnych,
- przyrostu wilgotności w wyniku podciągania kapilarnego wilgoci z gruntu [18][114][160].

3.1.1. Formy występowania wilgoci w materiałach budowlanych

Wilgoć nie jest pojęciem jednoznacznym; pod tym pojęciem rozumie się parę wodną, wilgoć tzw. sorpcyjną lub błonkową i wodę w stanie ciekłym. Przyjmuje się klasyfikację, zgodnie, z którą wilgoć w materiałach budowlanych może występować jako woda związana:

- chemicznie,
- fizykochemicznie,
- fizykomechanicznie [18][115][159].

Woda związana chemicznie (inaczej woda konstytutywna) znajduje się w strukturze niektórych materiałów w ścisłych stosunkach ilościowych. Jest ona silnie połączona ze związkami chemicznymi wchodzącymi w skład tych materiałów i oddzielić ją można tylko przez prażenie w odpowiednio wysokiej temperaturze.

Woda związana fizykochemicznie (inaczej wilgoć sorpcyjna) w materiałach budowlanych występuje na rozwiniętej powierzchni porów i kapilar materiału. Zjawisko to związane jest z istnieniem tzw. sił *van der Waalsa* (sił bliskiego zasięgu) oddziałujących na cząstki gazu w pobliżu powierzchni ciała stałego.

Ciała kapilarno-porowate charakteryzują między innymi następujące wielkości, określane za pomocą specjalnych badań strukturalnych:

- całkowita objętość porów,
- struktura porowatości, to jest rozkład objętości porów w zależności od ich średnicy,
- powierzchnia właściwa, to jest całkowita, rozwinięta powierzchnia porów i kapilar na centymetr sześcienny materiału.

W rzeczywistości kształt porów może być różny, jednak dla uproszczenia można przyjąć ich kształt jako kulisty. W zależności od umownej średnicy porów zakłada się ich podział na:

- mikropory – $\Phi < 20 \text{ \AA}$ (2 nm),
- mezopory – $20 \text{ \AA} < \Phi < 500\text{-}1000 \text{ \AA}$ (2 nm < Φ < 50-100 nm),
- makropory – $\Phi > 500\text{-}1000 \text{ \AA}$ (50-100 nm) [18][114][160].

Sorpcja wilgoci, tj. proces pochłaniania pary wodnej z powietrza otaczającego przez wysuszony materiał o właściwościach hydrofilowych (mający tendencje do przyłączania wody), ma więc istotne znaczenie w przypadku materiałów o silnie rozwiniętej powierzchni

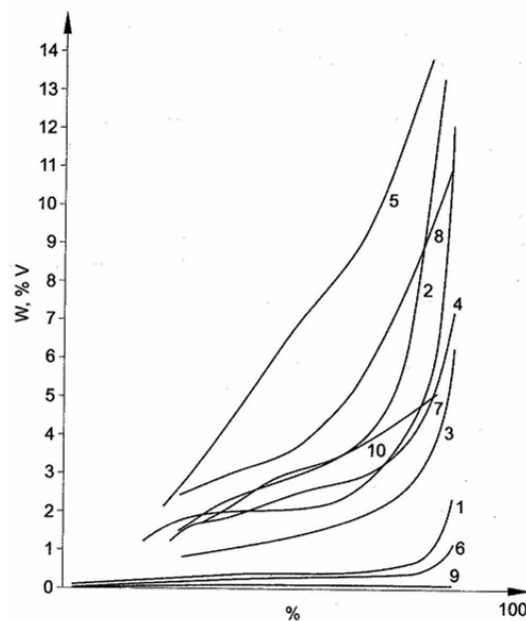
wewnętrznej. W przypadku braku tych sił cząsteczka uderzająca o powierzchnię uległaby odbiciu sprężystemu, a czas jej pozostawania w pobliżu powierzchni byłby rzędu 10^{-13} s. Skoro jednak istnieją siły przyciągania, to czas pobytu cząsteczki przy powierzchni ciała stałego przedłuża się o kilka rzędów wielkości. Fakt „przyklepiania się” pojedynczych cząsteczek do powierzchni ciała stałego odpowiada w ujęciu makroskopowym powstawaniu na tej powierzchni błonki zaadsorbowanej wilgoci. Należy pamiętać jednak, że nie jest to ciecz, lecz warstwa znajdujących się w ciągłym ruchu i zmieniających się miejscami cząstek pary wodnej[114][160].

Wilgoć sorpcyjna różni się od wody w stanie ciekłym: między innymi nie rozpuszcza soli mineralnych (a więc w obszarze wilgotności sorpcyjnej nie dochodzi do ruchu soli w materiale i ich wykwitów), w małym stopniu wpływa na przewodność cieplną materiału, nie zamarza nawet w niskiej temperaturze (a więc nie powoduje spękań mrozowych) i nie stwarza warunków właściwych do rozwoju mikroorganizmów (w tym grzybów domowych i pleśniowych).

Ilość wilgoci zaadsorbowanej na powierzchni ciała stałego zależy od prężności cząstkowej pary wodnej w powietrzu otaczającym, a więc od liczby cząstek pary wodnej, które mogą wejść w kontakt z powierzchnią ciała stałego. Wilgotność sorpcyjną materiałów bada się, umieszczając próbki (uprzednio wysuszone do stałej masy) w eksykatorach nad nasyconymi roztworami różnych soli, zapewniającymi w temperaturze 20-25°C różne wartości wilgotności względnej powietrza i wykonując okresowe ważenie, aż do stwierdzenia stałej masy próbek.

- Na podstawie wyników badań przyrostu wilgotności próbek materiałów przy kolejnych wartościach wilgotności względnej powietrza sporządzić można tzw. izotermę sorpcji (nazwa bierze się stąd, że badania prowadzi się w jednej temperaturze, najczęściej 23°C). Na rysunku poniżej przedstawiono izotermę sorpcji dla kilku materiałów; widoczne są duże różnice, co do wartości wilgotności sorpcyjnej materiałów i kształtu izotermę sorpcji, spowodowane różną powierzchnią właściwą materiału i różną strukturą porowatości.
- Izotermę sorpcji piankowych tworzyw sztucznych, takich jak polistyren ekspandowany (styropian), polistyren ekstrudowany, poliuretan oraz płyt z wełny mineralnej pokrywają się z osią odciętych; wyroby te mają prawie zerową wilgotność sorpcyjną.
- Izotermę sorpcji cegły ceramicznej i gipsu też nieznacznie odstają od osi odciętych; jedynie przy wzroście wilgotności względnej powietrza ponad 90% obserwuje się lekki wzrost wilgotności materiału, nieprzekraczający jednak 1% w stosunku do masy.

- Nieco wyższą wilgotnością sorpcyjną charakteryzują się zaprawy i betony; wilgotność sorpcyjna zaprawy cementowej dochodzi do 5%, betonu zwykłego do 3%, betonów z lekkich kruszyw do 6-8%, betonów komórkowych do 6%.
- Znaczniejszą wilgotnością sorpcyjną charakteryzują się drewno i materiały pochodzenia lignocelulozowego (do ponad 20%).
- W izotermach sorpcji można często wyróżnić trzy odcinki, odpowiadające różnym przedziałom wilgotności względnej powietrza, którym towarzyszy różny charakter fizyczny zjawiska sorpcji.
- Początkowy odcinek izoterm sorpcji (w zakresie wilgotności względnej otaczającego powietrza do około 20%) charakteryzuje się wypukłością krzywizny ku górze; z rozważań teoretycznych fizykochemii powierzchni wynika, że odcinek ten odpowiada wodzie związanej w postaci błonki monomolekularnej (na grubość jednej molekuly wody; tj. ok. 3 Å).
- Środkowy odcinek (w zakresie wilgotności względnej otaczającego powietrza od około 20% do około 70%) odpowiada wodzie związanej w postaci błonki polimolekularnej (na grubość więcej niż 1 molekuly, maksymalnie 3-4) [115][158].



Rys. 3.1. Izotermie sorpcji wybranych materiałów budowlanych wg badań różnych autorów: 1 - cegła ceramiczna 1700 kg/m³, 2 - cegła wapienno-piaskowa 1800 kg/m³, 3 - żużlobeton 1550 kg/m³, 4 - beton komórkowy PGS 680 kg/m³, 5 - zaprawa cem-wap. 1960 kg/m³, 6 - gips 1000 kg/m³, 7 - płyta pilśniowa porowata 223 kg/m³, 8 - płyta wiórkowo-cementowa 325 kg/m³, 9 - płyta z wełny mineralnej 150 kg/m³, 10 - beton zwykły 2300 kg/m³ [115][158][159][160].

Przy wysokiej wilgotności względnej powietrza otaczającego (ponad 80%) w porach często występuje zjawisko tzw. kondensacji kapilarnej spowodowanej obecnością menisków wklęsłych i charakteryzujące się wzrostem wilgotności materiału.

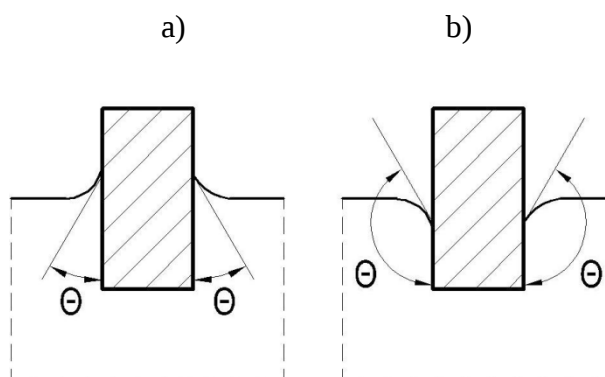
Jest to spowodowane faktem, że w pobliżu zakrzywionych powierzchni wklęsłych występuje obniżenie ciśnienia pary wodnej nasyconej; praktycznie wpływ zakrzywienia powierzchni na zmiany ciśnienia pary wodnej nasyconej zaznacza się przy wartości promienia $r < 10^{-7}\text{m}$ (to jest poniżej 1000 Å) i stąd kondensacja kapilarna występuje w mikro i mezoporach, a nie w makroporach[113][159][160].

Przy pełnym nasyceniu parą wodną otaczającego powietrza w materiale kapilarno-porowatym następuje, więc wypełnienie wodą tylko mikro- i mezoporów, podczas gdy w makroporach występuje tylko błonka wilgoci związanej siłami *van der Waalsa* i nie ulegają one całkowitemu zapełnieniu.

Całkowite zapełnienie makrokapilar może nastąpić jedynie wskutek bezpośredniego styku materiału z wodą, przy czym woda w materiale związana będzie siłami kapilarnymi (woda związana fizykomechanicznie).

Jest to związane ze zjawiskiem zwilżania ciał. Z doświadczenia wiadomo, że wskutek działania sił napięcia powierzchniowego przy powierzchni ciała stałego poziom cieczy zakrzywia się, w wyniku, czego powstaje menisk wklęsły lub wypukły (rysunek poniżej). Kształt menisku zależy od stosunku wartości napięcia powierzchniowego na powierzchni trzech faz: gazowej, ciekłej i stałej.

Wartość kąta Θ jest miarą zwilżalności. Przyjmuje się, że ciecz zwilża daną powierzchnię, jeśli $0 < \Theta < \pi/2$ i nie zwilża, jeśli $\pi/2 < \Theta < \pi$. W przypadku materiałów hydrofilowych $0 < \Theta < \pi/2$, w przypadku materiałów hydrofobowych $\pi/2 < \Theta < \pi$. [18][159][160]



Rys. 3.2 Kontakt powierzchni materiałów z cieczą: a) zwilżającą, b) niezwilżającą. Na podstawie [18][160].

- Różnice w zachowaniu się materiałów względem wody w zależności od kąta zwilżania widać gołym okiem. Kropla wody upuszczona na powierzchnię materiału bitumicznego lub wielkocząsteczkowego polimeru (polistyren, poliuretan) zachowuje kształt kulisty, ze spłaszczeniem w miejscu styku z powierzchnią ciała stałego i wybrzuszeniem na zewnątrz ponad płaszczyznę styku. Kropla wody upuszczona na powierzchnię materiału pochodzenia mineralnego lub roślinnego (przeważnie) rozplywa się szybko po powierzchni, ulegając jednocześnie wchłanianiu przez powierzchnię materiału w wyniku działania sił kapilarnych.
- Również w kapilarach ciecz zwilżająca powierzchnię materiału wznosi się ku górze tworząc menisk wklęsły (jak w przypadku doświadczenia z wodą w kapilarze z odtłuszczonego szkła), a ciecz niezwilżająca opada i powstaje występuje menisk wypukły (jak rtęć w analogicznym doświadczeniu materiałów rtęcią).
- Jeśli kapilara ma przekrój w przybliżeniu kołowy o niezbyt dużym promieniu, to zgodnie z równaniem Younga i Laplace'a, w postaci podanej przez Raleigha, po obu stronach menisku wystąpi różnica ciśnień.

$$\Delta p = \frac{2 \sigma \cos \Theta}{r} \quad (3.1)$$

Gdzie:

σ - napięcie powierzchniowe,

Θ - kąt zwilżenia,

r - promień kapilary.

Różnica ciśnień Δp warunkuje wznoszenie się cieczy w kapilarze aż do wyrównania różnicy ciśnień siłami masowymi (grawitacji).

W wyniku podciągania kapilarnego nie uzyskujemy zwykle całkowitego wypełnienia porów wodą wskutek uwięzienia powietrza w porach. Nie dotyczy to materiałów włóknistych

(niehydrofobizowane płyty z wełny mineralnej) lub jamistych (betony jamiste), które łatwo ulegają całkowitemu nasyceniu przy zetknięciu się z wodą. Woda ta jednak nie jest utrzymywana siłami kapilarnymi i łatwo wycieka z materiału pod wpływem siły grawitacji (jest to tzw. woda pendularna, od łacińskiego *pendulum* - wahadło) [18][115]; pozostaje w nim tylko niewielka ilość, tzw. wilgoci zwilżania. Przy dalszym wysychaniu takiego materiału do otaczającego powietrza uzyskuje się na ogół niższe wilgotności sorpcyjne materiału, niż w przypadku materiałów kapilarno-porowatych. Jest to związane z mniejszą powierzchnią właściwą tych materiałów i brakiem zjawiska kondensacji kapilarnej.

Wilgotność kapilarna jest z reguły znacznie większa, od maksymalnej wilgotności sorpcyjnej. Po ustaniu kontaktu z wodą ma zwykle miejsce powrót materiału do stanu równowagi termodynamicznej z otaczającym powietrzem, w wyniku wysychania.

Stosowany jest też w związku z tym podział materiałów z uwagi na ich wilgotność na:

- powietrzno-suche (w stanie wilgotności sorpcyjnej),
- wilgotne (w stanie wilgotności kapilarnej).

Cały sens zapewnienia dobrych właściwości izolacyjnych i trwałości zewnętrznych przegród budowlanych sprowadza się do utrzymania materiałów w warunkach eksploatacji w zakresie wilgotności sorpcyjnej. Ewentualne zawilgocenie kapilarne powinno mieć charakter tylko przejściowy i powinno się umożliwić doprowadzenie materiału do stanu wilgotności sorpcyjnej (powietrznosuchego).

3.1.2. Mechanizmy i modele ruchu wilgoci w materiałach budowlanych

Łatwo można przekonać się o fakcie, że mechanizm ruchu wilgoci w materiale kapilarno-porowatym zależy od formy związku wilgoci z ciałem stałym i nie jest jednolity w całym zakresie wilgotności materiału. W tym celu można wykonać proste doświadczenie, puszcając kroplę atramentu na bibułę lub płytkę gipsową. Powstanie plama, początkowo szybko rozszerzająca się, a następnie o ograniczonych rozmiarach i dość wyraźnie określonej granicy między obszarem zabarwionym i niezabarwionym. Istnienie tej granicy świadczy o tym, że kapilarny ruch cieczy może się odbywać tylko powyżej określonej wilgotności materiału. [18]

Do momentu, w którym nie nastąpi wypełnienie kapilar częściowo wodą, ruch wilgoci może się odbywać tylko jako ruch oddzielnych molekuł pary wodnej; zjawisko to nazywamy dyfuzją.

W przypadku dyfuzji pary wodnej w powietrzu traktowanym jako tzw. gaz inerty, co jest słuszne przy ciśnieniu cząstkowym pary wodnej, stanowiącym przeważnie poniżej 3% całkowitego ciśnienia powietrza wilgotnego, gęstość strumienia dyfundującej pary jest określona pierwszym prawem dyfuzji Ficka:

$$q_m = -\beta' \text{ grad } c \quad (3.2)$$

Gdzie:

β' - współczynnik przenoszenia masy,

c - stężenie pary wodnej w powietrzu [18] [115].

Stężenie pary wodnej może być wyrażone przez jej ciśnienie cząstkowe wzorem:

$$c = \frac{p}{R T} \quad (3.3)$$

Gdzie:

p - ciśnienie cząstkowe pary wodnej,

R - stała gazowa uniwersalna,

T - temperatura bezwzględna [18] [115].

Przy niedużych różnicach temperatury w rozpatrywanym układzie można na podstawie (3.2) i (3.3) napisać, że:

$$q_m = -\frac{\beta'}{R T} \text{ grad } p = -\beta \text{ grad } p \quad (3.4)$$

Gdzie:

β' - współczynnik przenoszenia masy,

R - stała gazowa uniwersalna,

T - temperatura bezwzględna,

p - ciśnienie cząstkowe pary wodnej [18][115].

Stąd też powstał wzór sformułowany jeszcze przed drugą wojną światową; przez Krischera w odniesieniu do materiałów gruboporowatych

$$q_m = -\frac{\beta'}{\mu} \text{grad } p \quad (3.5)$$

Gdzie:

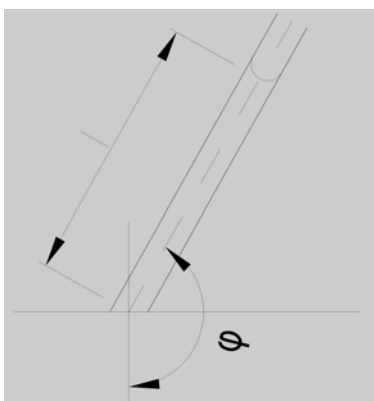
μ - współczynnik oporu dyfuzyjnego zdefiniowany jako stosunek gęstości strumienia dyfuzji pary wodnej przez warstwę powietrza o grubości d do gęstości strumienia dyfuzji przez warstwę materiału o tej samej grubości.[18][115]

W większości krajów wielkość β/μ określa się jako współczynnik paroprzewodności δ , wyznaczany z badań przy przepływie pary wodnej przez próbkę materiału.

Badania współczynnika paroprzewodności materiałów przeprowadza się najczęściej w warunkach izotermicznych, umieszczając próbkę materiału między dwoma środowiskami o różnej wilgotności względnej powietrza. Jednym z nich jest powietrze w eksykatorze nad roztworem soli zapewniającej określoną wilgotność względną, drugim powietrze nad wodą lub substancją higroskopijną wewnątrz naczynka uszczelnionego na obwodzie. W zależności od zawartości naczynka (woda lub substancja higroskopijna) wilgotność względna może w nim wynosić blisko 100% (nad wodą) lub 0% (np. nad chlorkiem wapnia lub żelem krzemionkowym). Odpowiednio, mówimy o badaniu współczynnika paroprzewodności metodą "mokrą" (woda pod próbką) lub "suchą" (absorbent pod próbką). Przez ważenie w określonych odstępach czasu ustala się przyrost masy substancji higroskopijnej lub ubytek masy wody.[18][115]

Wyniki badań wielu ośrodków wykazują, że w zakresie wilgotności sorpcyjnej materiałów ich współczynnik paroprzewodności mało zależy od metody badania i jest praktycznie stały. Istotniejszy wpływ wywiera obniżenie temperatury próbki poniżej 0°C; kryształki lodu zamykają pory i paroprzewodność materiałów ulega zmniejszeniu. Natomiast kilkakrotny wzrost gęstości strumienia wilgoci, co obliczeniowo odpowiada wzrostowi współczynnika paroprzewodności, stwierdzono w materiałach o wilgotności ponadsorpcyjnej. Stąd też prawo dyfuzji Ficka traci sens niejednokrotnie nawet w przypadku ruchu wilgoci w przegrodach początkowo suchych, ale które w trakcie eksploatacji ulegną zawilgoceniu. To samo dotyczy przegród z wbudowanymi materiałami wilgotnymi, lub wykonywanych przy użyciu procesów mokrych, do których prawo Ficka nie ma zastosowania.[18]

Mechanizmu ruchu kapilarnego rozpatrzmy na uproszczonym schemacie ciała kapilarnego w postaci wiązki równoległej rurek (kapilar) o jednakowym promieniu. W przypadku kapilar o przekroju kołowym i cieczy zwilżającej ścianki kapilar menisk przybiera kształt wklęsłej półkuli. Zgodnie z równaniem Younga i Laplace'a po obu stronach menisku występuje różnica ciśnień Δp warunkująca wznoszenie się cieczy w kapilarze.



Rys. 3.3 Wznoszenie cieczy w kapilarze.

W przypadku kapilary (rysunek powyżej) o promieniu r i polu powierzchni przekroju poprzecznego πr^2 , nachylonej względem pionu pod kątem ϑ , ruch cieczy powstanie pod wpływem siły podciągania kapilarnego

$$\frac{2 \sigma \cos \Theta}{r} \pi r^2 \quad (3.6)$$

Równoważonej trzema siłami:

- siłą bezwładności

$$\frac{d^2 l}{d r^2} \rho l \pi r^2 \quad (3.7)$$

- siłą tarcia wynikającą z prawa Poiseille'a

$$-\frac{8 \eta l}{r^2} \frac{d l}{d r} \pi r^2 \quad (3.8)$$

- składową siły grawitacji

$$g \rho l \cos \vartheta \pi r^2 \quad (3.9)$$

gdzie:

ρ - gęstość dynamiczna cieczy,

η - lepkość cieczy,

g - ciśnienie ziemskie.[18][114][115]

Ze względu na powolność przepływu wartość siły bezwładności jest tak mała, że można ją pominąć i równanie równowagi sił można napisać w postaci (we wszystkich składnikach opuszczono wspólny czynnik πr^2):

$$\frac{2 \sigma \cos \Theta}{r} + g \rho l \cos \vartheta - \frac{8 \eta l}{r^2} \frac{d l}{d r} = 0 \quad (3.10)$$

W szczególnym przypadku, przy ruchu poziomym, $\cos \vartheta = 0$ i wtedy można wyznaczyć prędkość ruchu kapilarnego

$$v = \frac{d l}{d r} = \frac{\sigma r \cos \Theta}{4 \eta l} \quad (3.11)$$

Ze wzoru powyższego otrzymujemy związek

$$d r = \frac{4 \eta l d l}{\sigma r \cos \Theta} \quad (3.12)$$

z którego po scałkowaniu obustronnym otrzymuje się

$$r = \frac{2 \eta l^2}{\sigma r \cos \Theta} \quad (3.13)$$

lub inną postać

$$l = \left(\frac{\sigma r \cos \Theta}{4 \eta} \right)^{\frac{1}{2}} r^{\frac{1}{2}} \quad (3.14)$$

Ze wzoru powyższego wynika, że długość słupka wody w kapilarze poziomej, a więc i masa podciągniętej wilgoci, jest proporcjonalna do pierwiastka z czasu podciągania kapilarnego.

Przy ruchu pionowym $\cos \vartheta = -1$ i wtedy prędkość ruchu kapilarnego staje się równa:

$$v = \frac{d l}{d r} = \frac{r^2}{8 \eta l} \left(\frac{2 \sigma \cos \Theta}{r} - g \rho l \right) \quad (3.15)$$

Przy małych wartościach czasu, a więc i wysokościach słupka wody w kapilarze, drugi człon w nawiasie w wzorze powyżej jest mały w porównaniu z pierwszym, stąd prędkość podciągania kapilarnego w kapilarze pionowej jest taka sama, jak dla kapilary poziomej.

Ze wzoru na prędkość podciągania kapilarnego wynika, że przy pewnej określonej wysokości słupka wody w kapilarze prędkość staje się równa 0. Otrzymamy stąd maksymalną wysokość podciągania kapilarnego.

$$H = l_{max} = \frac{2 \sigma \cos \Theta}{r \rho g} \quad (3.16)$$

Ze wzoru wynika, że wysokość podciągania kapilarnego jest tym większa, im mniejszy jest umowny promień kapilary.

Sumaryczną gęstość strumienia kapilarnie związanej wilgoci można wyrazić wzorem

$$q_m = - \frac{\rho^2 r^2}{8 \eta} \text{grad} \left(- \frac{2 \sigma \cos \Theta}{r \rho} \right) \quad (3.17)$$

a stąd przedstawić w postaci

$$q_m = - \lambda_m \text{grad } E \quad (3.18)$$

gdzie:

$$\lambda_m = \frac{\rho^2 r^2}{8 \eta} \text{ - współczynnik przewodzenia wilgoci kapilarnej,}$$

$$E = - \frac{2 \sigma \cos \Theta}{r \rho} = \frac{\Delta p}{\rho} \text{ - stosunek podciśnienia kapilarnego do gęstości wody. [3]}$$

Wielkość E , występująca tutaj w znaczeniu potencjału, nazywa się potencjałem kapilarnie związanej wilgoci. Sam potencjał odpowiada energii wymaganej do wprowadzenia jednostki masy wody do kapilary, a wymiarem jego jest J/kg.[18]

W rzeczywistości materiały kapilarno-porowate mają budowę znacznie bardziej złożoną niż opisuje to model wiązki jednakowych równoległych kapilar. Występuje efekt tzw. krętości kapilar, który wywołuje znaczne rozbieżności ilościowe, tym niemniej w ogólnych zarysach wnioski jakościowe w przypadku dyskutowanego modelu są zgodne z rzeczywistością. W szczególności również w badaniach rzeczywistych materiałów masa wody podciąganej przez jednostki powierzchni materiału jest w przybliżeniu proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z czasu. Dużą wartością wysokości podciągania kapilarnego charakteryzują się materiały drobnoporowate, jak na przykład cegła ceramiczna o czerpie porowatym, gips

i zaprawa wapienna, znacznie mniejszą cegła ceramiczna o czerepie zwartym (półklinkier i klinkier), cegła wapienno-piaskowa i zaprawy: cementowo-wapienna i cementowa. Podobnie na dużą wysokość (do kilkunastu metrów) podciągają wodę drobnoporowate grunty (gliny, ily), a nie podciągają wody grube piaski i żwir, stosowane jako podsypka w celu przzerwania podciągania kapilarnego. [3][18]

Od wielu lat powstają modele ruchu wilgoci w materiałach kapilarno-porowatych, w których rozpatruje się łącznie dyfuzyjny transport pary wodnej i kapilarny transport cieczy. Na tle licznych prac czysto teoretycznych korzystnie prezentuje się model Kunzela z niemieckiego Fraunhofer Institut für Bauphysik, którego założenia wynikają z badań doświadczalnych prowadzonych na poligonie w Holzkirchen od 1951 r. i który był wielokrotnie sprawdzany w praktyce. [18]

3.1.3. Parametry charakteryzujące strukturę materiałów budowlanych

Aby zrozumieć procesy powodujące pojawianie się wilgoci w obiektach budowlanych, konieczne jest poznanie parametrów charakteryzujących strukturę materiałów budowlanych oraz zachowanie się tych materiałów wobec wody.

Gęstość

Przez gęstość (masę właściwą) rozumiemy masę m jednostki objętości materiału V_a bez uwzględniania wielkości porów wewnątrz materiału. Wyrażana jest ona zazwyczaj w kg/m^3 lub g/cm^3 .

$$\rho = \frac{m}{V_a} \quad (3.19)$$

Gdzie:

m – masa próbki,

V_a – objętość próbki [18] [122][161].

Gęstość pozorna (objętościowa)

Jest to wielkość związana ze strukturą materiału (zawartością porów). Jest to masa m_s jednostki objętości V suchego materiału. Wyrażana jest ona zazwyczaj w kg/m^3 lub g/cm^3 .

$$\rho_0 = \frac{m_s}{V} \quad (3.20)$$

Gdzie:

m – masa próbki,

V_a – objętość próbki [18] [122] [161].

Szczelność

Jest to parametr opisujący strukturę materiału. Wyraża procentową ilość materiału bez porów w jednostce objętości.

$$s = \frac{\rho_0}{\rho} \quad (3.21)$$

Gdzie:

ρ₀ - gęstość pozorna [kg/m³, g/cm³],

ρ - gęstość [kg/m³, g/cm³]. [18] [122][161]

Porowatość

Określa, jaką część objętości materiału zajmują pory. Wyrażona jest wzorem:

$$p = 1 - s = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \quad (3.22)$$

Gdzie:

ρ₀ - gęstość pozorna [kg/m³, g/cm³],

ρ - gęstość [kg/m³, g/cm³]. [18] [115][122] [161]

Sorpcja

Jest to zdolność materiału do pochłaniania pary wodnej z otoczenia. Dzieli się na adsorpcję, która polega na pochłanianiu powierzchniowym pary wodnej, oraz absorpcję, polegającą na wnikanii wody w głąb materiału. Zjawisko sorpcji zależy zawsze od rodzaju materiału, jego struktury oraz warunków cieplno-wilgotnościowych otoczenia. W sposób szczegółowy zjawisko sorpcji omówione zostało w punkcie „Formy występowania wilgoci w materiałach budowlanych”.

Wilgotność

Wilgotność materiału to, względna zawartość wody w materiale, będąca wynikiem zarówno naturalnego stanu, jak i działania czynników zewnętrznych. Zjawisko zawilgocenia

związane jest ściśle z budową materiałów porowatych. Rozróżniamy wodę związaną chemicznie (jest ona składnikiem struktury materiału), związaną fizyko-chemicznie (sorpcyjna lub błonkowa) oraz związaną fizyko-mechanicznie (na skutek działania sił kapilarnych). Wielkość w_m zwana wilgotnością masową [%] oznacza stosunek masy wody znajdującej się w materiale do masy suchego materiału, co może być przedstawione następująco:

$$w_m = \frac{m_w - m_s}{m_s} 100\% = \frac{m_{wody}}{m_s} 100\% \quad (3.23)$$

Gdzie:

w_m - wilgotność masowa [%],

m_w - masa próbki wilgotnej [kg, g],

m_s - masa próbki o wysuszenia do masy stałej [kg, g],

m_{wody} - masa wody znajdującą się w próbce [kg, g]. [18] [115][122]

Symbolem w_o oznacza się wilgotność objętościową, tzn. stosunek objętości wody znajdującej się w materiale do objętości materiału suchego.

$$w_o = \frac{\frac{m_w - m_s}{\rho_0}}{\frac{m_s}{\rho_w}} 100\% \quad (3.24)$$

Gdzie:

w_o - wilgotność objętościowa [%],

m_w - masa próbki wilgotnej [kg, g],

m_s - masa próbki o wysuszenia do masy stałej [kg, g],

ρ_o - gęstość objętościowa danego materiału [kg/dm³, g/cm³],

ρ_w - gęstość wody [kg/dm³, g/cm³]. [18] [115]

Higroskopijność

Jest to zdolność materiału do wchłaniania pary wodnej z otoczenia. Materiały charakteryzujące się tą właściwością mają zwilżane i łatwo nasycające się parą wodną kapilary. Wielkość tę oznaczyć można wzorem:

$$H = \frac{m_w - m_s}{m_s} 100\% \quad (3.25)$$

Gdzie:

m_w - masa próbki wilgotnej [kg, g], zawilgoconej do stałej masy w eksykatorze nad wodą,

m_s - masa próbki o wysuszenia do masy stałej [kg, g]. [18] [122]

Kapilarność

Jest to zjawisko związane ze zwilżaniem powierzchni kapilar przez ciecz, do którego dochodzi na skutek działania sił adhezji i napięcia powierzchniowego. Warunkiem wystąpienia zjawiska jest otwarty system połączonych ze sobą porów i kapilar oraz możliwość zwilżania powierzchni kapilar przez ciecz. Szczegółowo zagadnienie kapilarności omówione zostanie w części badawczej pracy.

Nasiąkliwość

Jest to parametr określający ilość wody, którą materiał może wchłonąć i utrzymać. W praktyce stanowi maksymalną wilgotność materiału.

$$n_m = \frac{m_n - m_s}{m_s} 100\% = \frac{m_{\text{wody}}}{m_s} 100\% \quad (3.26)$$

Gdzie:

n_m - nasiąkliwość masowa [%],

m_n - masa próbki w stanie nasycenia wodą [kg, g],

m_s - masa suchej próbki [kg, g],

m_{wody} - masa wody znajdującą się w próbce [kg, g]. [18][115] [122]

Nasiąkliwość objętościowa n_o [%] oznacza stosunek objętości wody wchłoniętej przez próbkę do objętości próbki w stanie suchym.

$$n_o = \frac{m_n - m_s}{V} 100\% \quad (3.27)$$

Gdzie:

n_o - nasiąkliwość objętościowa [%],

m_n - masa próbki w stanie nasycenia wodą [kg, g],

m_s - masa suchej próbki [kg, g],

V - objętość próbki w stanie suchym [m^3 , cm^3]. [18] [122]

Przesiákiliwość

Charakteryzuje zdolność materiału do przepuszczania wody, dlatego zjawisko to można również określić jako podatność materiału na przenikanie wody pod wpływem ciśnienia hydrostatycznego. Przesiákiliwość zazwyczaj oznaczana jest jako ilość wody przechodząca przez

określoną powierzchnię materiału w ciągu określonego czasu i przy określonym ciśnieniu. O podatności materiału na to zjawisko decyduje szczelność i rodzaj porowatość materiału.

Można tu jednak zauważyć pewną prawidłowość: materiały o otwartym systemie małych porów i kapilar, charakteryzują się intensywnym podciąganiem kapilarnym, przy małej przepuszczalności, i odwrotnie, obecność dużych porów powoduje niewielkie podciąganie kapilarne przy dużej przepuszczalności. Natomiast dla materiałów o zamkniętej strukturze porów nie występuje zjawisko podciągania kapilarnego, materiały te mogą wprowadzić nasiąkać wodą, ale są nieprzeziąkliwe.[37][122]

Dyfuzja pary wodnej

Parametr ten pozwala ocenić szczelność przegrody (warstwy). Istotą tego zjawiska jest „przechodzenie” cząstek pary wodnej przez przegrodę, na skutek różnicy stężeń po obu stronach przegrody. Zjawisko to definiuje współczynnik przepuszczalności pary wodnej δ :

$$\delta = \frac{m d}{F t \Delta p} \quad (3.28)$$

Gdzie:

δ - współczynnik przepuszczalności pary wodnej,

m - masa pary wodnej [g] przenikającą przez przegrodę w czasie t [s],

d - grubość przegrody lub warstwy materiału [m],

F - powierzchnia przegrody[m²],

t - czas przenikania pary wodnej przez przegrodę [s],

Δp - różnica ciśnień [Pa] pary wodnej po oby stronach przegrody. [18][113][122]

Parametr r_w zwany oporem dyfuzyjnym określa opór, jaki stawia parze wodnej przegroda o grubości d oraz współczynniku paroprzepuszczalności δ .

$$r_w = \frac{d}{\delta} \quad (3.29)$$

Gdzie:

r_w - opór dyfuzyjny,

d - grubość przegrody[m],

δ - współczynnik przepuszczalności pary wodnej. [18][113][122]

Współczynnik oporu dyfuzyjnego μ to:

$$\mu = \frac{\delta_p}{\delta} \quad (3.30)$$

Gdzie:

δ_p - współczynnik przepuszczalności pary wodnej powietrza,

δ - współczynnik przepuszczalności pary wodnej dla przegrody. [18][113][122]

W praktyce współczynnik μ zastępowany jest parametrem s_d , określającym grubość nieruchomej warstwy powietrza, cechującej się takim samym oporem dyfuzyjnym jak warstwa materiału (przegroda) o grubości d .

$$s_d = \mu d \quad (3.31)$$

Gdzie:

s_d - zastępczy (porównawczy) współczynnik oporu dyfuzyjnego [m],

μ - współczynnik oporu dyfuzyjnego

d - grubość przegrody [m], [18][113][122]

Współczynnik μ , jest wielkością bezwymiarową, sama jego znajomość nic nie mówi o zdolności przegrody do przepuszczalności pary wodnej. Dlatego tak istotne jest jego powiązanie z grubością przegrody i operowanie parametrem s_d , który jest wielkością porównywalną.

3.2. BADANIA BEZPOŚREDNIE WILGOTNOŚCI MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

Metody badań wilgotności materiałów można podzielić na takie, w których pomiar odbywa się w sposób bezpośredni lub pośredni. Pomiar bezpośredni to pomiar, którego wynik otrzymuje się na podstawie bezpośredniego wskazania narzędzia pomiarowego, wywzorcowanego w jednostkach miary mierzonej wielkości.

3.2.1. Metoda laboratoryjna – grawimetryczna

Metoda laboratoryjna obarczona wieloma ograniczeniami uważana jest, za jedyny miarodajny sposób pomiaru wilgoci. Badanie wymaga posiadania zaplecza laboratoryjnego oraz odpowiedniego sprzętu do pobierania próbek. Badania wilgotności metodą laboratoryjną wykonywane powinny być w oparciu o normę PN-EN ISO 12570 Ciepłno-wilgotnościowe

właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie wilgotności przez suszenie w podwyższonej temperaturze. Aparatura badawcza powinna zawierać:

- Suszarkę zdolną do utrzymywania temperatury suszenia minimum 105°C z dokładnością $\pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej na poziomie mniejszym niż 10%; w przypadku gorącego i wilgotnego powietrza lub niskiej temperatury suszenia konieczne może się okazać dostarczenie powietrza suszącego dla zapewnienia właściwej wilgotności względnej.
- Wagę pozwalającą na ważenie próbek do badań z niepewnością nie większą niż 0,1% ich masy.
- Eksykator.

Przed suszeniem należy zważyć próbki do badań z dokładnością do 0,1% ich masy. Następnie należy suszyć próbki do stałej masy w temperaturze określonej w stosownej normie wyrobu. Stała masa jest osiągnięta, gdy zmiana pomiędzy trzema kolejnymi ważeniami wykonanymi w ciągu 24h wynosi mniej niż 0,1% całkowitej masy. Próbki należy studzić w eksykatorze i ważyć je po osiągnięciu temperatury od 30°C do 40°C z tą samą dokładnością jak opisano wyżej. Próbki waży się przed ich całkowitym wystudzeniem, aby zminimalizować powtórna absorpcję wilgoci[206].

Wilgotność materiału W_m określa się stosunkiem masy wody zawartej w badanym materiale do jego masy w stanie suchym wg wzoru:

$$W_m = \frac{m_w - m_s}{m_s} * 100\% \quad (3.32)$$

Gdzie:

W_m - wilgotność masowa,

m_w - masa próbki wilgotnej,

m_s - masa próbki suchej.

3.2.2. Wytyczne do pobierania materiału

Wielu ograniczeniom podlega sposób i miejsce poboru próbek z tego też powodu zagadnienia te zostaną omówione dokładnie.

Szczególną uwagę należy przykładac do miejsca i sposobu pobrania próbek. W Polsce brak jest norm określających ilość, miejsce i sposób pobierania próbek do badań wilgotności

metodą laboratoryjną. W związku z brakiem wiarygodnych źródeł, wysokość i głębokość pobierania próbek oraz ich liczba często opiera się na własnym doświadczeniu wykonujących badania. Podstawowe zasady dotyczące próbkowania:

- Próbki pobierane powinny być z głębokości $1/3 - 1/4$ grubości muru. Materiał do badań musi pochodzić z całej długości otworu. [3][115]
- W przypadku gdy przegrody wysychają w jednym kierunku głębokość powinna wynosić $1/2$ grubości muru. [4]
- Podczas próbkowania nie można przegrzać pobieranego materiału.
- W celu określenia rozkładu zawilgocenia w zależności od wysokości muru badanie należy wykonać w poziomie posadzki (wewnątrz obiektu) lub terenu (na zewnątrz) oraz przynajmniej jeden pomiar powyżej pierwszego (np. na wysokości 1m). W miejscach gdzie wysokość została zmieniona każdorazowo należy dokonać jej pomiaru.
- Materiał przeznaczony do badań należy umieścić w szczelnym opakowaniu i w przypadku konieczności transportu przechowywać w lodówce, (jeżeli oznaczenie wilgotności wykonywane jest w dłuższym okresie od momentu pobrania próbek). W przypadku kilkudniowych badań na obiekcie próbki można zamrozić i w takim stanie przewozić do laboratorium.
- Otwory, z których pobierany jest materiał do badań należy uzupełnić materiałem zgodnym z pobranym z muru.
- Należy wykonać dodatkową dokumentację fotograficzną miejsc poboru. Umożliwi to późniejsze naniesienie punktów na dokumentację rysunkową.

Istnieje dość duży problem z przyjęciem miarodajnej liczby próbek, które należy pobrać z obiektu (w Polsce brak jest norm). Uwzględniona musi zostać przede wszystkim wielkość obiektu, powierzchnia podpiwniczenia, zmienność materiału w obrębie badanych murów oraz wizualny stan badanych przegród. Na podstawie wieloletnich badań prowadzonych przez autora wysnuto następujące wnioski dotyczące minimalnej liczby próbkowań i miejsc poboru. Zgodnie z nimi materiał należy pobrać z:

- wszystkich ścian zewnętrznych piwnic stykających się z gruntem
- przynajmniej jednej ściany wewnętrznej konstrukcyjnej w poziomie piwnic
- wszystkich ścian zewnętrznych w poziomie parteru od zewnątrz i od wewnątrz

Jeżeli uwzględnimy, że każdorazowo pobieramy materiał z dwóch wysokości, to nawet dla obiektu podpiwniczonego o niewielkiej powierzchni zabudowy, daje liczbę ponad

dwudziestu próbek. Założenia te nie uwzględniają wspomnianej powyżej zmienności materiałów w ścianach i długości ścian.

Niestety dość często ze względów finansowych przyjmowana jest zbyt mała liczba próbek, co utrudnia właściwą ocenę stanu wilgotnościowego. W opracowaniach technicznych, dość często można się spotkać, z oceną stanu wilgotnościowego obiektów wielkowymiarowych, na podstawie zaledwie kilku punktów pomiarowych.

Niezwykle istotną sprawą jest technika pozyskiwania materiału do badań. Źródła literaturowe wskazują konieczność odkuwania lub stosowania wybijaków rurowych.[206] Niestety obydwa sposoby, w przypadku badania przegród, nie są możliwe do zastosowania. W przypadku odkuć na tak dużą głębokość, uszkodzeniu uległby duży fragment muru. Zastosowanie wybijaków rurowych ogranicza się jedynie do poboru próbek na niewielkiej głębokości i dotyczy materiałów o niskiej wytrzymałości. Przy pobieraniu z większych głębokości problemem jest usunięcie wybijaka z materiałem i zachodzi konieczność odkuwania materiału wokół wybijaka. W jednym i drugim przypadku uszkodzenia badanej przegrody są zbyt rozległe. Z tego też powodu najczęściej próbki pobierane są metodą odwiertów. Przy pozyskiwaniu materiału za pomocą odwiertów istnieje realne niebezpieczeństwo przegrzania zwierzyny, co wpływa niekorzystnie na wynik (obniża). Powoduje to konieczność stosowania wiercenia wolnoobrotowego lub wiertnic z koronami nie chłodzonymi wodą.

3.2.3. Badania własne – Wpływ techniki poboru próbek na wynik badania wilgotności

Bez względu na technikę odwiertów podczas pobierania materiału do badań dochodzi do przesuszenia zwierzyny. Ubytek masy próbki wilgotnej powinien zostać uwzględniony podczas obliczeń wilgotności. Badania własne autora pozwoliły na opracowanie poprawek uwzględniających technikę pobierania materiału.

Celem badań było wykazanie różnicy w wilgotnościach tych samych próbek przy różnych technikach poboru w stosunku do wartości uznanej za bazową, czyli odkuwania. Ze względu na to, że najczęściej wykorzystywane przy tego typu badaniach jest wiercenie, ocenie poddano dwie metody poboru zwierzyny z muru:

- wiercenie urządzeniem udarowym szybkoobrotowym
- wiercenie urządzeniem udarowo – obrotowym o niskiej prędkości wiercenia

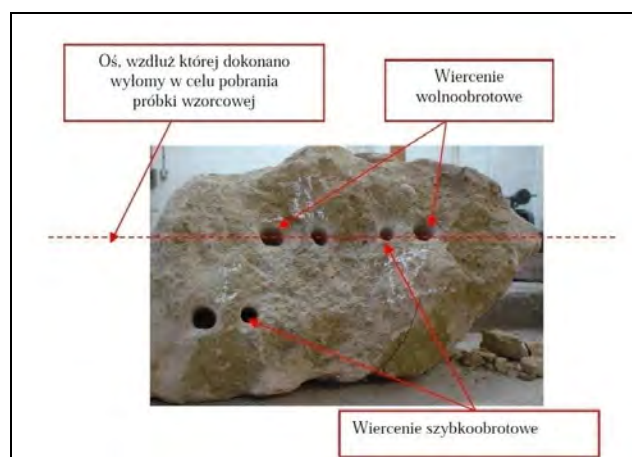
Podczas badań wyznaczone zostały tabele poprawek dla czterech różnych materiałów budowlanych. Do badań wybrano następujące materiały:

- cegła pełna palona, klasy 100,
- pustak z gazobetonu komórkowego, odmiana M 600,
- skała węglanowa – opoka,
- zaprawa cementowo – wapienna.

Przygotowane wcześniej próbki poddano procesom zawilgocenia tak aby uzyskać różne wilgotności. Proces był monitorowany z użyciem mierników bazujących na pomiarach pośrednich, po uprzednim wprowadzeniu właściwych charakterystyk materiałowych.

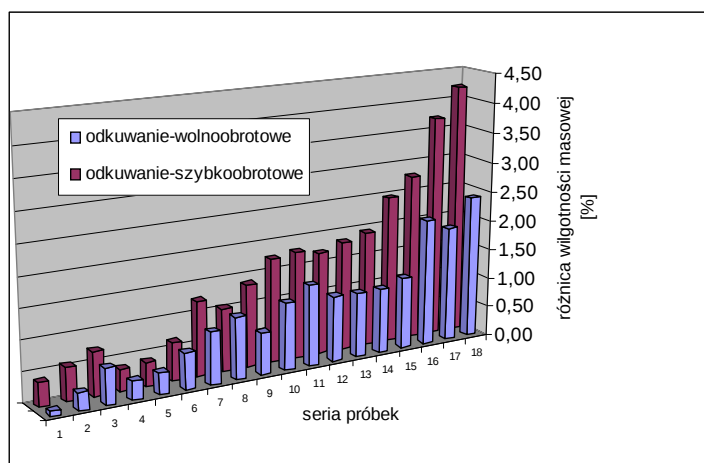


Rys. 3.4 Próbką z cegły ceramicznej przygotowana do badań.



Rys. 3.5 Otwory w opoce, z których została pobrana do badania zwierzina.

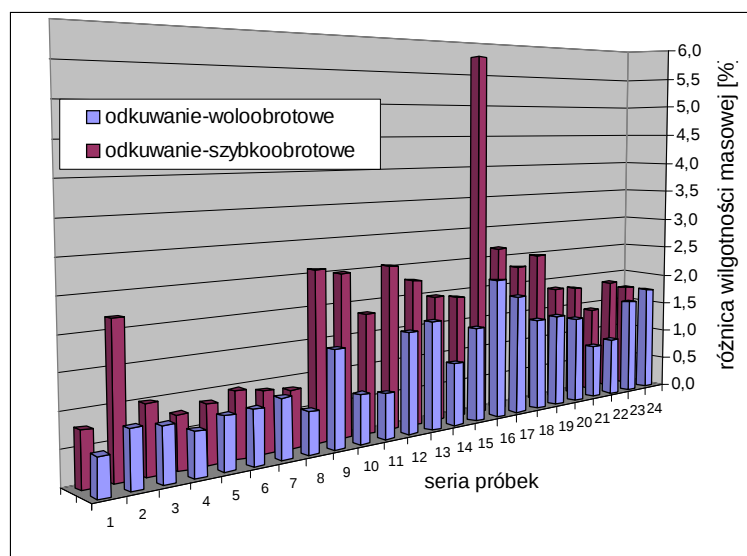
Następnie z poszczególnych próbek został pobrany materiał przy pomocy odwiertów szybko i wolnoobrotowych. Odwierty wykonano w odległości około 4-6 cm. Materiał pomiędzy otworami został odkuty wzdłuż osi poziomej otworów, dzięki czemu została pobrana próbka wzorcowa. Kolejnym etapem było oznaczenie wilgotności metodą laboratoryjną. Ze względu na obszerność materiału poniżej przedstawiono jedynie wyniki końcowe badań dla cegły ceramicznej i opoki. Z 6 brył opoki pobrano 72 próbki w 24 cyklach badawczych. W przypadku cegły ceramicznej badania wykonano na 6 murkach, z których pobrano 54 próbki w 18 cyklach badawczych. Jeden cykl obejmował wiercenia wolnoobrotowe, wiercenie szybkoobrotowe oraz odkuwanie.



3.1 Wykres rozkładu wilgotności masowej w stosunku do techniki poboru próbki dla cegły ceramicznej.

Tab. 3.1 Różnica w wilgotności masowej cegły ceramicznej przy poborze za pomocą odwiertu w stosunku do odkuwania.

Przedział wilgotności	Średnia wartość różnic wilgotności masowej pomiędzy odkuwaniem, a wierceniem szybkoobrotowym	Średnia wartość różnic wilgotności masowej pomiędzy odkuwaniem, a wierceniem wolnoobrotowym
0-3 %	0,51 %	0,38 %
3-10%	1,36 %	0,78 %
10-15%	2,15 %	1,16 %
15-20%	3,58 %	1,86 %



Rys. 3.6 Wykres rozkładu wilgotności masowej w stosunku do techniki poboru próbki dla opoki

Tab. 3.2 Różnica w wilgotności masowej opoki przy poborze za pomocą odwiertu w stosunku do odkuwania.

Przedział wilgotności	Średnia wartość różnic wilgotności masowej pomiędzy odkuwaniem, a wierceniem szybkoobrotowym	Średnia wartość różnic wilgotności masowej pomiędzy odkuwaniem, a wierceniem wolnoobrotowym
0-5 %	1,45 %	0,64 %
5-10%	2,23 %	1,03 %
10-36%	3,44 %	1,51 %

W zamieszczonych powyżej tabelach przedstawione zostały poprawki jakie należy dodać do osiągniętych wyników wilgotności w zależności od użytej techniki poboru oraz przedziału wilgotności. Podobne tabele opracowane zostały dla pozostałych wymienionych wcześniej materiałów.

W pracy niniejszej wystąpiła konieczność wielokrotnego używania tych samych próbek do badania wilgotności. Wykluczało to pobieranie materiału do badań metodami odkucia, zdecydowano więc o stosowaniu wiercenia wolnoobrotowego. Wyznaczenie poprawek było konieczne ze względu na minimalizację błędów związanych z przesuszaniem zwierzyny.

3.3. METODY POŚREDNIE BADANIA WILGOTNOŚCI

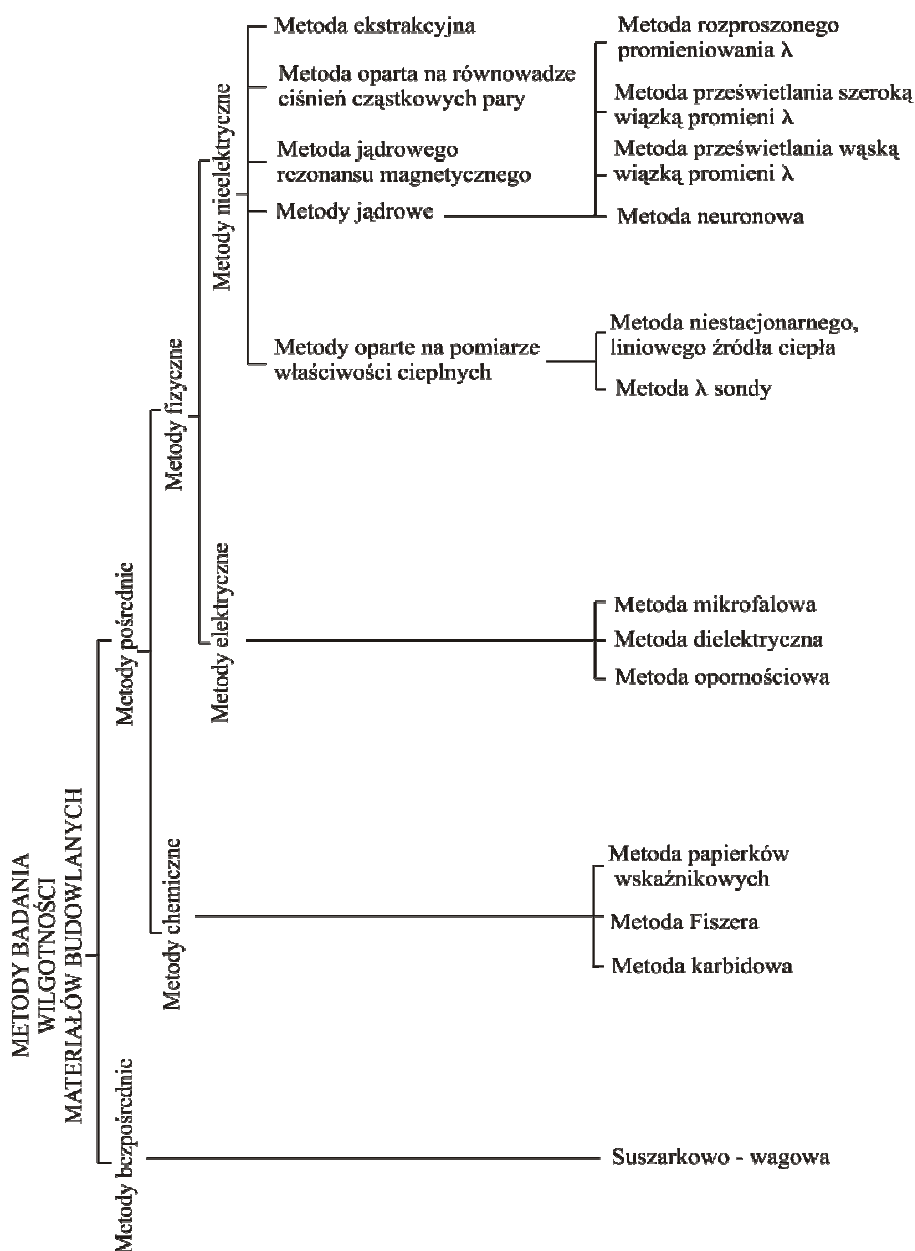
Pomiary pośrednie wykorzystują właściwości fizyczne i chemiczne wody, która znajduje się w materiałach budowlanych. Wynik otrzymuje się na podstawie bezpośredniego pomiaru innych wielkości, opierając się na znanej zależności między tymi wielkościami, a wielkością mierzoną.

Obecnie na polskim rynku dostępnych jest wiele urządzeń pomiarowych działających na następujących zasadach:

- pomiaru ciśnienia acetyleny powstałego wewnątrz hermetycznego pojemnika w wyniku reakcji wody pochodzącej z zawilgoconego materiału z węglikiem wapnia (metoda karbidowa);
- pomiaru wilgotności względnej powietrza w głębi wywierconego otworu i ustaleniu tzw. wilgotności relatywnej na podstawie krzywej sorpcji danego materiału;
- pomiaru oporu elektrycznego (mierniki elektrooporowe), w których wykorzystuje się zależność przewodnictwa elektrycznego materiału od jego wilgotności;
- pomiaru zmiany stałej dielektrycznej lub tangensa kąta stratności dielektrycznej materiału (mierniki dielektryczne);
- pomiaru prądów wirowych.[2]

Na zamieszczonym poniżej rysunku przedstawiono schemat podziału metod pośrednich badania wilgotności. W dwóch grupach chemicznych i fizycznych znajduje się kilkanaście metod pomiarowych. W rzeczywistości w budownictwie stosowanych jest zaledwie kilka z nich.

W dalszej części pracy w sposób szczegółowy zostaną omówione te metody, które znalazły powszechne zastosowanie w budownictwie. Należą do nich wszystkie trzy metody elektryczne (mikrofalowa, opornościowa, dielektryczna) oraz z metod chemicznych – karbidowa.



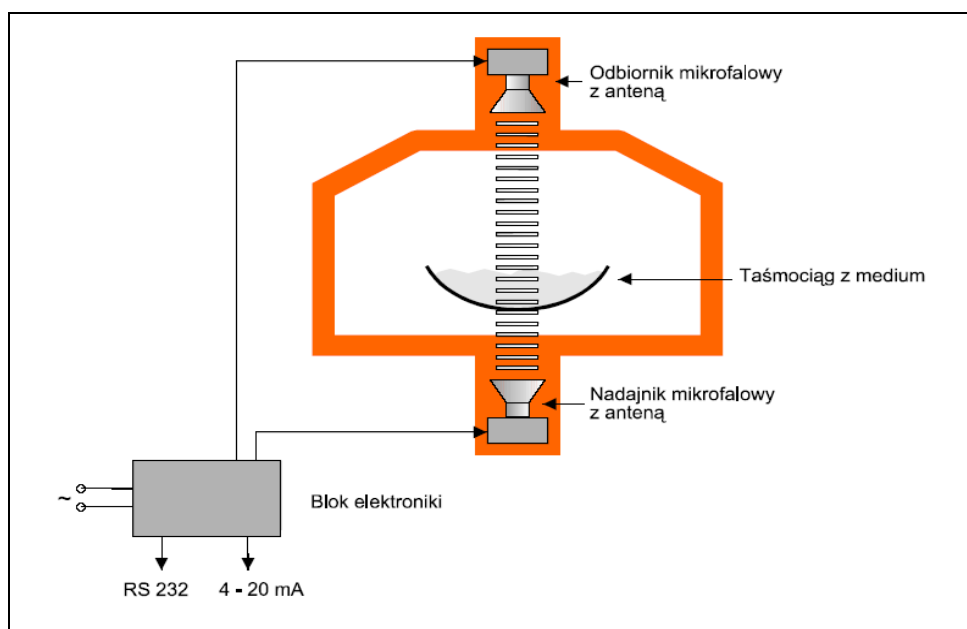
Rys. 3.7 Podział metod badania wilgotności materiałów budowlanych.[148]

3.3.1. Metody elektryczne

Z grupy metod elektrycznych przy pomiarach wilgotności najczęściej stosowane są metody opornościowa i dielektryczna. W ofercie firm oferujących tego typu mierniki są urządzenia bazujące na jednej z metod lub też coraz częściej wielofunkcyjne.

Metoda mikrofalowa

Jest to metoda bezkontaktowego pomiaru wilgotności (zawartości wody) pomiar jest realizowany w oparciu o zjawiska tłumienia amplitudy i przesunięcia fazy mikrofali przenikających przez produkt. Na podstawie obu tych wielkości urządzenie oblicza zawartość wody w mierzonej substancji.



Rys. 3.8 Schemat działania miernika mikrofalowego LB 456[216]

Układ pomiarowy składa się zawsze z jednostki sterującej, anteny nadawczej i odbiorczej oraz kabli łączących wysokiej częstotliwości. Dodatkowo układ może być wyposażony w izotopowy układ kompensacji gęstości. Najczęściej jest stosowany układ pomiarowy dla produktu na taśmociągu. Anteny są montowane nad i pod taśmociągami tak, że prześwietlają transportowany materiał. W razie zastosowania izotopowego układu korekcji gęstości, detektor promieniowania jest montowany nad, a pojemnik ochronny ze źródłem - pod taśmociągami. Mikrofalowy pomiar wilgotności może być stosowany do produktów

nieprzewodzących. Metoda jest bezpieczna w stosowaniu, ponieważ natężenie wiązki mikrofalowej jest kilkakrotnie niższe od dopuszczalnych norm.

Zestaw pomiarowy składa się z nadajnika i odbiornika mikrofalowego, bloku elektronicznego do analizy sygnału oraz programu na PC do rejestracji, obróbki i archiwizacji danych pomiarowych, oraz kalibracji systemu.[216]

Metoda dielektryczna

Metoda polega na wykorzystaniu zjawisk zmiany pojemności elektrycznej materiału wraz ze zmianą zawartości wilgoci. Istnieje, bowiem związek między wilgotnością materiału a jego stałą dielektryczną. Dzięki dużej różnicy między wartością stałej dielektrycznej wody i bezwodnych substancji można przyjąć proporcjonalność między wilgotnością materiałów a ich stałą dielektryczną. Zaletą tej metody jest brak inwazyjności oraz łatwość i szybkość pomiaru. Największym mankamentem niewielka głębokość pomiaru zwykle do kilkudziesięciu milimetrów.

Metoda opornościowa

Metodę opornościową zaliczamy do metod niszczących, gdyż pomiar polega na wykonaniu niewielkich otworów w badanym materiale. Zakres ingerencji jest na tyle mały, że może być ona z powodzeniem stosowana również w obiektach zabytkowych. Pomiar bazuje na pomiarze rezystancji zawilgoconego materiału pomiędzy układem dwóch elektrod. Zdecydowanie częściej mierniki opornościowe wykorzystywane są do pomiaru wilgotności materiałów drewnianych i drewnopochodnych. Przy pomiarach metodami opornościowymi należy także pamiętać, że w przypadku występowania zasolenia dochodzi do wypaczenia wyników.

Z powodu niewielkiej głębokości pomiaru, wpływu zasolenia pomiary metodami elektrycznymi mogą mieć jedynie charakter informacyjny. Pozwalają natomiast na dość sprawne wyszukiwanie miejsc zawilgoconych oraz są niezwykle pomocne przy tworzeniu tzw. „map zawilgocenia” obrazujących rozkład zawilgoczeń na powierzchni przegród.



Rys. 3.9 Wilgotnościomierz dielektryczny LB-795



Rys. 3.10 Wilgotnościomierz opornościowy

3.3.2. Metoda chemiczna

Metoda karbidowa jest metodą chemiczną i polega na pobraniu próbki z przegrody przez wywiercenie i wprowadzenie jej wraz z ampułką zawierającą węgiel wapnia (karbid) do szczelnego ciśnieniowego naczynia stalowego, wyposażonego w manometr. Przez lekkie wstrząsanie naczynia następuje rozbicie ampułki oraz zmieszanie zawartości. Zachodząca reakcja powoduje wydzielanie się acetyleny i wzrost ciśnienia w butli, którego wartość ustala się po pewnym czasie. Wilgotność próbki odpowiadająca wytworzonemu ciśnieniu można odczytać z dołączonej do urządzenia tabelki. Dokładność pomiaru wynosi $\pm 3\%$.

Reakcja zachodzi według wzoru:



Masa próbki badanego materiału, zakres pomiarowy manometru i wymiary komory pomiarowej zostały tak dobrane, że manometr jest wyskalowany bezpośrednio w procentach wilgotności względnej. Manometr znajduje się pod dnem pojemnika pomiarowego.



3.11 Wilgotnościomierz karbidowy WK-1

Stosując metodę karbidową przy pomiarach zawilgocenia przegród w obiektach istniejących należy uwzględnić zanieczyszczenie badanej próbki innymi związkami chemicznymi np. występujące wykwity solne lub zagrzybienie materiału. Rzeczywiste zawilgocenie materiału może nieznacznie odbiegać od odczytanego z manometru stopnia zawilgocenia jeśli struktura badanego materiału była zanieczyszczona higroskopijnymi solami.

Dwuznaczność która może nastąpić podczas interpretowania odczytów wilgotności w zanieczyszczonym materiale można zmniejszyć przez mierzenie faktycznej wilgotności materiału oraz badanie wilgotności powietrza otaczającego badany materiał przy pomocy higrometru aby otrzymać względną wilgotność materiału.[148]

3.3.3. Charakterystyka pośrednich metod pomiarowych

W poniższej tabeli zestawione zostały podstawowe dane dotyczące metod pośrednich badania wilgotności stosowanych w budownictwie. Kolejno podano zakres stosowania, dokładność i głębokości pomiarów oraz stopień ingerencji w strukturę badanego materiału. Dodatkowo w kolumnie uwagi podane zostały wady i zalety omawianych we wcześniejszym punkcie metod.

Tab. 3.3 Charakterystyka metod pomiarowych

Metoda pomiaru	Zakres badanej wilgotności [%]	Dokładność pomiaru [%]	Głębokość pomiaru [mm]	Inwazyjność	Zastosowane zaplecze laboratoryjne	Uwagi
Grawimetryczna	0-100	-	dowolna	tak	tak	ZALETY: bardzo duża dokładność wyników, WADY: próbki muszą być pozyskiwane przez wiercenie na sucho względnie przez dłutowanie a dokładność pomiaru zależy od umiejscowienia, bez strat wody przeniesienia próbek do laboratorium, czasochłonne badanie, inwazyjność
Karbidowa	0,14-22,9	±3	dowolna	tak	nie	ZALETY: dokładna metoda pomiaru, WADY: inwazyjność, wykwyty solne i zagrzybienia mają wpływ na uzyskiwane wyniki, wysoki koszt ampulek karbidowych
Dielektryczna	0-100	w zależności od kalibracji	30-50	nie	nie	ZALETY: nieinwazyjność, WADY: wymaga przeprowadzenia dodatkowego skalowania z wykorzystaniem metod bardziej dokładnych, wpływ na uzyskiwane wyniki ma zasolenie badanego materiału i siła docisku elektrod
Opornościowa	0-100	w zależności od kalibracji	głębokość wkręcenia sondy	tak	minimalna	ZALETY: pomiar na głębokości wkręcenia sond, WADY: metoda inwazyjna, wymaga przeprowadzenia dodatkowego skalowania z wykorzystaniem metod bardziej dokładnych, wpływ na uzyskiwane wyniki ma zasolenie badanego materiału
Mikrofalowa	0-100	±3	min. 100mm	tak	nie	ZALETY: nieinwazyjna metoda, pomiar niezależny od temperatury, gęstości i koloru badanego materiału, WADY: pomiar ograniczony do sypkich materiałów nieprzewodzących, główne zastosowanie ma na taśmociągach i silosach

3.3.4. Badania własne – Kalibracja urządzeń pomiarowych

W pracy wykorzystano metody dielektryczną i opornościową pomiaru wilgotności. Badania prowadzono za pomocą wilgotnościomierza materiałów LB- 795. Wilgotnościomierz daje możliwość zaprogramowania 150 materiałów użytkownika (po 50 dla każdej metody pomiarowej). Programowanie polega na odpowiedniej zmianie charakterystyki pomiarowej zapisanej w pamięci wilgotnościomierza poprzez zapisanie czterech punktów kalibracyjnych do wilgotnościomierza. Przed rozpoczęciem pracy na materiale który nie został ujęty w spisie dostępnych w pamięci wilgotnościomierza należy zaprogramować go odpowiednio. przyporządkować nowemu materiałowi odpowiednią nazwę,

- ustalić metodę pomiarową, na której odbędzie się programowanie np. sonda igłowa.
- ustalić wartości punktów kalibracyjnych: H1w - wilgotność wzorcowa pierwszego punktu kalibracyjnego, H1m - wilgotność zmierzona pierwszego punktu kalibracyjnego, H2w - wilgotność wzorcowa drugiego punktu kalibracyjnego, H2m - wilgotność zmierzona drugiego punktu kalibracyjnego.

Aby wyznaczyć wartości H1w, H1m, H2w, H2m należy dany materiał zmierzyć przy pomocy wilgotnościomierza LB-795 oraz przy pomocy innego urządzenia uznanego przez użytkownika za wzorcowe (np. metodą grawimetryczną suszarko-wagową wg PN-EN ISO 12570 - dla materiałów i wyrobów budowlanych) dla dwóch różnych wilgotności materiału. Najlepiej gdy wartości mierzonych wilgotności są oddalone od siebie tzn. mierzy się materiał uznany raz np. za prawie suchy (ale nie całkowicie suchy) i drugi raz za wilgotny (ale nie maksymalnie wilgotny).

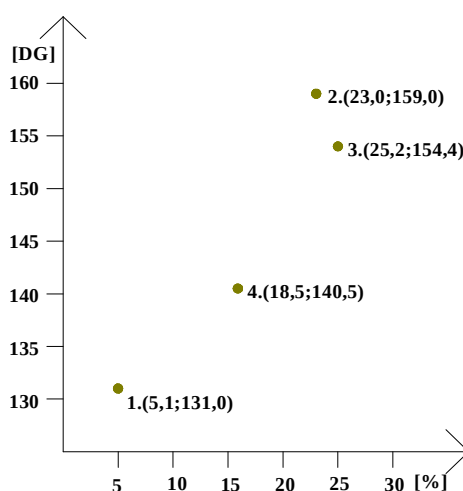
W pracy do kalibracji miernika zostały użyte po cztery próbki kamienne (dla każdej z metod) i cztery próbki zapraw. W celu uniknięcia błędu pomiarowego wynikającego z możliwości występowania warstw uzależnienia. Wybierano próbki o różnym stopniu zawilgocenia. Do kalibracji metodą opornościową wywiercono w każdej z nich dwa otwory w odległości od siebie 50mm i głębokości 70mm. W wywierconych otworach zostały zamontowane sondy igłowe które następnie lekko dobito młotkiem. Po odczekaniu 24 godzin w celu wyrównania wilgotnościowego materiału w całej objętości przeprowadzono pomiary. Po ich wykonaniu rozbito próbki i pobrano materiał znajdujący się pomiędzy sondami igłowymi. Następnie przeprowadzono badanie wilgotności metodą grawimetryczną. Ze względu

na obszerność materiału poniżej przedstawione zostały wyniki badań dla opoki (kalibracja metody opornościowej).

Tab. 3.4 Zestawienie pomiarów miernika LB-795 i wilgotności z pomiaru metodą laboratoryjną

Nr Próbkki - Opoka	1	2	3	4
Pomiar miernika przed kalibracją	131	159,5	140,5	154,4
Wilgotność laboratoryjna [%]	5,1	23	18,5	25,2

Po otrzymaniu wyników wilgotności sporządzony został wykres „krzywej kalibracji” dla badanego materiałow.



3.12 Punkty otrzymane z pomiarów

Ponieważ punkty nie leżą liniowo, nie można wyznaczyć jednej prostej która na pewno byłaby tą prawdziwą. W celu wyznaczenia prostej rzeczywistej zdecydowano wyznaczyć pięć prostych przechodzące przez poszczególne pary punktów 1,2,3,4 (prostą przechodzącą przez punkty 2,3 została odrzucona albowiem jej zwrot jest niezgodny z przyrostem wilgotności) i dokonać pomiaru sprawdzającego. Na podstawie otrzymanych wyników sporządzono wykresy „linii kalibracyjnych” dla kolejnych przedziałów wilgotności.

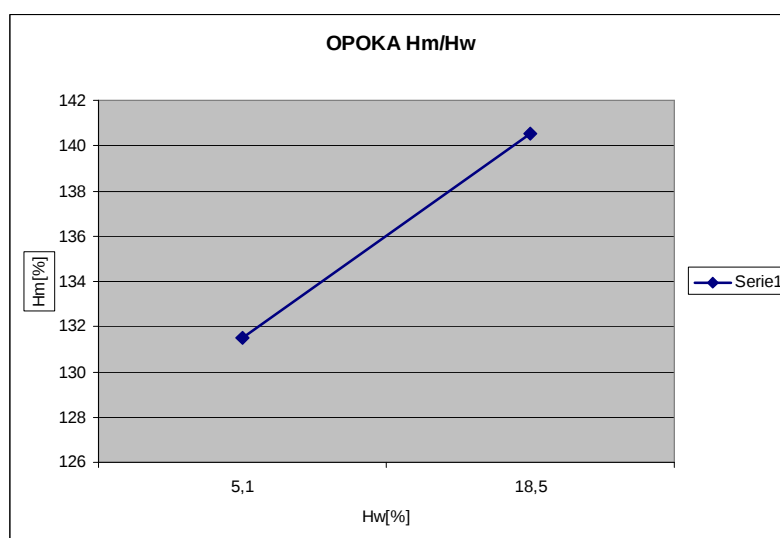
Tab. 3.5 Zestawienie punktów kalibracyjnych dla poszczególnych prostych

Nr Prostej	1	2	3	4	5
Punkty na których oparta jest prosta	1 (5,1;131,0) 4(18,5;140,5)	1 (5,1;131,0) 3(25,2;154,4)	1(5,1;131,0) 2(23,0;159,0)	4(18,5;140,5) 3(25,2;154,4)	4(18,5;140,5) 2(23,0;159,0)

Następnie zaprogramowano miernik na pięciu pozycjach. Wykonano dodatkowe pomiary na czterech próbkach przygotowanych jak do pierwszego pomiaru. Po wykonaniu pomiaru i analizie wyników przyjęto jako prostą rzeczywistą linię przechodzącą przez punkty 1,3.

Tab. 3.6 Zestawienie pomiarów wilgotności sprawdzających poprawność kalibracji miernika LB-795 – pomiar opornościowy.

Nr Próbkki	1	2	3	4
Wilgotność wg miernika po kalibracji [%]	1,7	2,1	28,2	15,8
Wilgotność laboratoryjna [%]	1,9	2,3	27,7	15,0



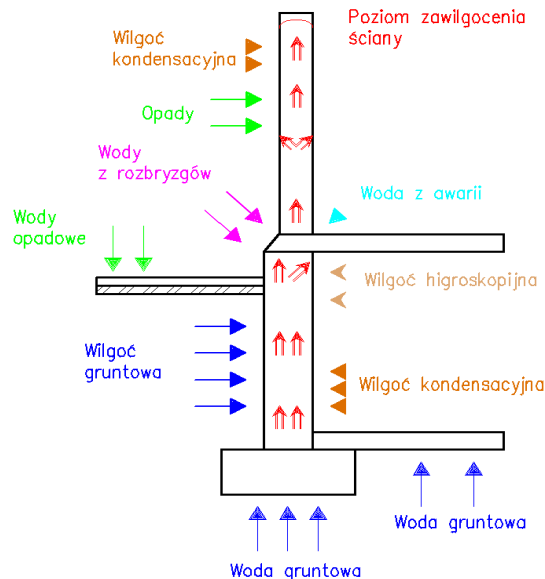
Rys. 3.13 Wzorcowanie miernika - charakterystyka pomiarowa dla opoki – pomiar opornościowy

W sposób analogiczny prowadzono badania dla pozostałych materiałów wykorzystywanych w dalszej części badań (zaprawy wapienne, wapienno – cementowe i trasowe).

3.4. ŹRÓDŁA ZAWILGOCENIA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

Dokładne określenie przyczyn (źródeł) zawilgocenia jest dość skomplikowane i często niemożliwe bez przeprowadzenia szczegółowych badań. Wpływ ma na to przede wszystkim fakt, że w obiektach zawilgoconych niezmiennie rzadko mamy do czynienia jedynie z jednym źródłem. Najczęściej stan podwyższonej wilgotności to efekt jednoczesnego pojawienia się kilku różnych przyczyn. Do najważniejszych źródeł wilgoci występującej w budynkach możemy zaliczyć wodę znajdującą się w gruncie, wodę opadową, wodę i wilgoci pochodzącą z instalacji, wilgoć kondensacyjną i sorpcyjną oraz wilgoć technologiczną.

Uwzględniając inne kryterium, źródła zawilgocenia możemy podzielić na: zawilgocenia strukturalne (ze zwierciadła wody gruntowej i tzw. wody rozproszonej), zawilgocenia powierzchniowe (na skutek kondensacji pary wodnej zwierciadła i higroskopijnego poboru wilgoci). W sposób schematyczny źródła wody obrazuje poniższy rysunek.



3.14 Źródła zawilgocenia budynków i obiektów

Woda znajdująca się w gruncie

Ściany fundamentów i piwnic oraz posadzek leżących bezpośrednio na ziemi są zagrożone wilgocią gruntową, a także wodami gruntowymi (jeśli występują one na małej głębokości). Wody znajdujące się w gruncie, które działają na podziemne części murów występują w postaci: błonkowej (stanowi ona otoczkę poszczególnych ziaren gruntu) oraz kapilarnej (wypełnia pory między ziarnami gruntu w wyniku działania napięcia powierzchniowego). Całkowite wypełnienie porów występuje w pobliżu poziomu wody gruntowej, wilgotność gruntu wynosi tam 100 %. [18] Zawilgocenie zagraża nie tylko podziemnym częściom budynku. Może ono zostać przeniesione na wyższe, leżące ponad ziemią części budynku na skutek zjawiska podciągania kapilarnego. Podciąganie kapilarne polega na transportowaniu wody i powolnym nasiąkaniu obszarów materiału niemających bezpośredniego kontaktu ze źródłem wilgoci. Podciąganie kapilarne z fundamentów i piwnic może być powodem zawilgocenia ścian do wysokości kilku metrów. Wysokość podciągania kapilarnego zależy od struktury porów i kapilar materiału, i jest odwrotnie proporcjonalna do ich

średnicy. Oznacza to, że w materiałach drobno porowatych podciąganie jest najwyższe. Dla grubych murów wzniesionych z cegły ceramicznej może sięgać nawet kilku metrów powyżej poziomu wody gruntowej. W murach z kamienia wysokość podciągania uzależniona jest przede wszystkim od rodzaju skały. W przypadku skał osadowych (wapienie, piaskowce) jest ono zdecydowanie wyższe niż dla skał magmowych, gdzie jest minimalne lub też nie występuje. Nie oznacza to, że w murach ze skał magmowych, czy też metamorficznych pochodzenia magmowego, nie ma zjawiska podciągania kapilarnego.[126] W związku z tym, że mur składa się również z zaprawy woda jest podciągana w wyższe partie muru siecią spoin. Wysokość podciągania kapilarnego można wyrazić wzorem:

$$H = \frac{2 E \cos \alpha}{r g \rho} \quad (3.34)$$

Gdzie:

E- napięcie powierzchniowe cieczy,

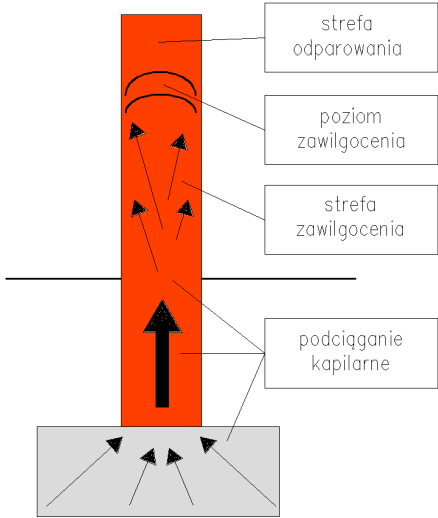
α - kąt zwilżania,

r - promień kapilary,

g - przyspieszenie ziemskie,

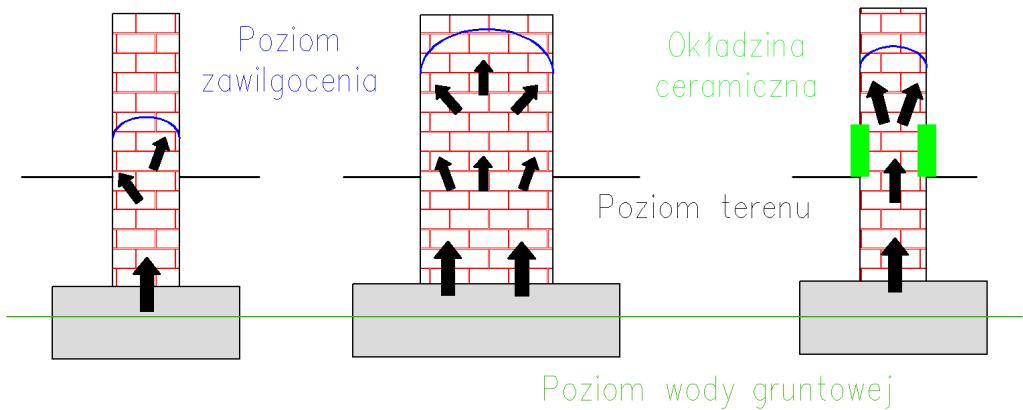
ρ - gęstość cieczy.[18][37]

Jak łatwo zauważyć, zmiennymi niezależnymi od nas są E, g i ρ , natomiast możemy, poprzez mniejszą lub większą ingerencję w strukturę muru, wpływać jedynie na wartość parametrów r i α . Obydwa te parametry mogą być zmienione poprzez stosowania materiałów iniekcyjnych o działaniu hydrofobizującym bądź uszczelniającym. W sposób szczegółowy ich działanie omówione zostanie w dalszej części pracy.



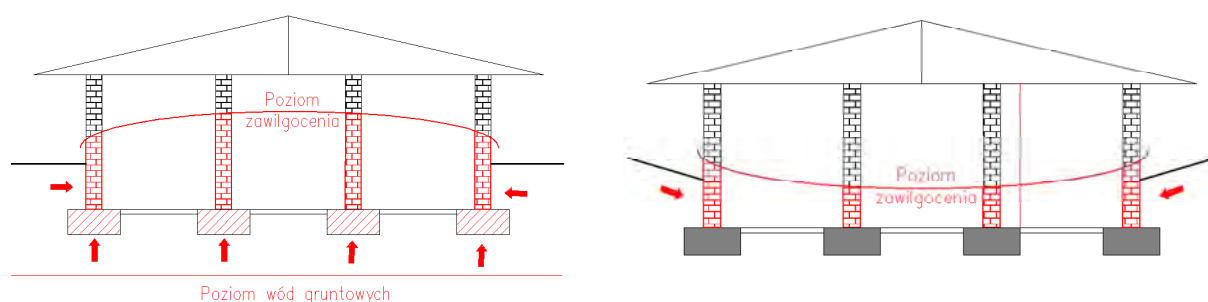
Rys. 3.15 Schematyczny podział muru na strefy: poboru wody, zawilgocenia i odparowania

Na rysunku powyżej przedstawiono schematyczny podział muru na strefy: poboru wody, zawilgocenia i odparowania. Wynika z tego, że w chwili równowagi (to jest przy stałym poziomie zawilgocenia) wydajność pochłaniania wody (czyli ilość dostarczonej wody), jest równa wydajności dyfuzyjnego parowania (ilość wyparowanej wody). Dlatego też w grubym murze wysokość podciągania kapilarnego jest większa niż w murze o mniejszym przekroju, powierzchnia odparowania musi zrównoważyć większą powierzchnię napływu. Wykonanie szczelnej okładziny (ceramika, tynk cementowy) powoduje pogorszenie sytuacji, tworzy się coś w rodzaju komina, powodującego podciąganie wilgoci jeszcze wyżej. Sytuację tę obrazuje poniżej zamieszczony rysunek.



Rys. 3.16 Schematyczna zależność poziomu zawilgocenia od grubości muru

Ponadto, w przypadku zawilgacania na skutek podciągania kapilarnego, wysokość zawilgocenia ścian wewnętrznych jest wyższa niż ścian zewnętrznych. Odwrotnie będzie w przypadku zawilgacania wodą rozproszoną (pochodzącą np. z opadów), tutaj poziom zawilgocenia ścian zewnętrznych będzie nieregularny i z reguły wyższy niż ścian wewnętrznych.



Rys. 3.17 Poziom zawilgocenia przy podciąganiu kapilarnym i oddziaływaniu wody rozproszonej

Woda opadowa

Bezpośrednie oddziaływanie wód opadowych. Deszcz, śnieg, szron to czynniki, przed którymi bronili się budowniczowie historycznych, czy zabytkowych dziś już, obiektów. Daleko wysunięte okapy, strome dachy, to elementy kształtujące formy architektoniczne obiektów. Ładny dach stanowi ozdobę budynku, jednak im bardziej skomplikowany dach, tym większa możliwość przecieków i zalewania wnętrza budynku. Odpowiednie ukształtowanie i szczelność koszy, kalenic, połaci dachowych, stan rynien, rzygaczy i rur spustowych, dbałość o ich stan techniczny i bieżące naprawy to podstawowy obowiązek mieszkańców lub użytkowników. Natomiast spływająca z połaci dachowych nieodprowadzona od budynku woda powoduje skutki opisane powyżej, tyle że szybciej zauważalne. Zacinanie deszczu nie stanowi zagrożenia, o ile woda nie wnika w grunt bezpośrednio przy ścianie lub pod izolację pionową ściany. Większe zagrożenie ma natomiast tzw. woda rozbryzgowa. Krople deszczu po odbiciu od opasek często zawilgacają niezabezpieczony pas przyziemia.

Wilgoć technologiczna

Zawilgocenia powstają w wyniku naturalnej wilgoci wbudowywanych materiałów oraz prowadzenia robót mokrych. Źródło to ma szczególne znaczenie w przypadku budynków wznoszonych w technologii tradycyjnej z dużym udziałem procesów mokrych. W trakcie eksploatacji budynku przegrody te powinny stopniowo wysychać, a długość okresu wysychania zależy od rodzaju użytego materiału, konstrukcji obiektu i grubości przegrody oraz

od temperatury i wilgotności względnej powietrza. Zwykle się przyjmować, że czas wyprowadzania wilgoci technologicznej to okres około 1,5 roku.

Zmiany jakie dokonały się na przestrzeni ostatnich lat w budownictwie wyznaczyły nowe przedziały czasu wyprowadzania wilgoci technologicznej z obiektów. Niestety okres ten uległ wyraźnemu wydłużeniu. Wpływ na to miały: zmiany w kolejności robót budowlanych oraz skrócenie czasu realizacji obiektów. Ze względu na sezonowość budownictwa, jeszcze przed nadejściem mokrych i chłodnych dni, niewykończone obiekty są docieplane (najczęściej styropianem o dużym oporze dyfuzyjnym). Prace wykończeniowe, charakteryzujące się dużą ilością robót mokrych (tynkarskich, posadzkarskich, malarskich), wykonywane są w szczelnych najczęściej niedostatecznie wentylowanych obiektach. Terminowość realizacji wymusza oddawanie do użytkowania budynków, które bardzo często są wewnątrz jeszcze wilgotne. Niedostatecznie ogrzewane (w związku z kosztami), „opakowane” izolacją uniemożliwiającą odparowywanie wilgoci na zewnątrz, z wstawionymi szczelnymi elementami stolarki wysychają znacznie dłużej niż przez wspomniane 18 miesięcy.

Wilgoć kondensacyjna

Związana z wykraplaniem się nadmiaru pary wodnej, występuje przede wszystkim w pomieszczeniach gdzie odbywają się procesy mokre (pranie, suszenie, gotowanie). Do podstawowych przyczyn kondensacji pary wodnej możemy zaliczyć: zbyt małą izolacyjność termiczną ścian, bardzo dużą bezwładność termiczną budynku oraz niewydolność instalacji wentylacyjnej.

W zimie ogrzane wewnątrz powietrze skrapla się w zetknięciu z zimnymi murami. W okresie wiosenno-letnim natomiast, masywne, grube ściany, stropy lub sklepienia nagrzewają się stosunkowo wolno, dlatego też napływające z zewnątrz cieplejsze powietrze (głównie w okresie wiosennym) w zetknięciu z chłodną powierzchnią przegrody skrapla się. Problemy związane z inercją termiczną mogą dotyczyć zarówno poszczególnych elementów, jak i budynku.

Wilgoć sorpcyjna

Higroskopijność materiałów budowlanych to zdolność pobierania z otoczenia pary wodnej. Związki takie wiążąc parę wodną ulegają rozpuszczeniu i powodują zawilgocenia.

Ich objawem są nieregularne, wilgotne lub mokre plamy, pojawiające się i znikające w zależności od warunków atmosferycznych.

Porowate, mineralne materiały budowlane gromadząc cząstki wody na ściankach porów i oddając je, zależnie od względnej wilgotności powietrza, dążą do osiągnięcia stanu wilgotnościowej równowagi z otoczeniem. Ten proces jest niezależny od obecności soli i jest określany mianem sorpcji. W razie obecności soli, wchłaniają one wilgoć z otoczenia zgodnie ze swoimi higroskopijnymi właściwościami.[18][37]

Obciążenie wilgocią higroskopijną ma miejsce, gdy w murze na jego powierzchni nagromadzone są większe ilości soli. Solami są przeważnie siarczany, chlorki i azotany, często razem tworzące złożone kompleksy. Sole wpływają na higroskopijność materiałów budowlanych, a więc ich zdolność do wiązania wody z fazy gazowej (pary wodnej).

Zawartość wilgoci w materiale budowlanym zależy zawsze od istniejącej wilgotności powietrza. W związku z tym mówi się i o tzw. wilgotności równowagowej. Nagromadzone w strukturze materiału sole mogą poziom tej wilgotności równowagowej bardzo podwyższyć. W jakim stopniu to zależy od właściwości higroskopijnych soli, czyli ich zdolności wiązania wody. Największą higroskopijność posiadają szczególnie łatwo rozpuszczalne azotany, po nich wśród sprawców szkód budowlanych są chlorki. Najmniejsze własności higroskopijne wykazują siarczany. Silne zasolenie i tym samym higroskopijne obciążenie wilgocią muru może sprawiać wrażenie istnienia wilgoci podciąganej kapilarnie. Dlatego też poprzez sporządzenie bilansu wilgoci, w sensie analizy stanu budynku, należy określić stopień higroskopijnego przesiąknięcia wilgocią, tak, aby móc następnie zaplanować odpowiednie kroki naprawcze. Rozpoznanie szkód spowodowanych przez wilgoć higroskopijną sprawia zwykle problemy. Wskaźnikiem istnienia tego rodzaju obciążenia są plamy wilgoci z wykwitami solnymi na powierzchniach elementów budowlanych. [37]

Pochodząca z awarii instalacji

Przyczyną zawilgocenia przegród budowlanych, może być także woda pochodząca z awarii instalacji wodociągowej, CO czy też kanalizacyjnej. Do tego typu awarii dochodzi zarówno w nowych, jak i starszych budynkach. Starsze budynki są wyposażone w przewody sieci wodociągowej wykonane z rur stalowych i żeliwnych. Rury te najczęściej są już mocno skorodowane, co może prowadzić do powstawania przecieków i zalewania pomieszczeń.

W przypadku nowych sieci wodociągowych główną przyczyną zalewania mieszkań są najczęściej pęknięcia wszelkich elastycznych elementów instalacji.

3.5. NEGATYWNE SKUTKI ZAWILGOCENIA BUDYNKU

W celu uzmysłowienia wagi problemu należy również w skrócie omówić, jakie są skutki nadmiernego zawilgocenia. Uszkodzenia substancji budowlanej, czy też szkody materiałowe, których sprawcą jest woda, można podzielić na trzy kategorie:

- Fizyczne, na które wpływ mają: ruchy podłoża, uszkodzenia wywoływane przez mróz, zmiany temperatury, utrata ciepła, rysy skurczowe i powstające na skutek pęcznienia, zmiany materiałowe, przemoknięcia ścian.
- Chemiczne, na które składają się: wykwyty solne, rozsadzanie na skutek pęcznienia, szkody powodowane przez mróz i sól używaną do topienia pokrywy śnieżnej i lodowej, wypłukiwanie wapna, plamy rdzy, korozja chemiczna.[37]
- Biologiczne, czyli: mikroorganizmy, naloty glonów, porost mchu, obrośnięcie porostami, zagrzybienie, porost pleśni, zanieczyszczenia.[37]

Te trzy rodzaje zniszczenia substancji materiałów budowlanych mają jeden wspólny mianownik: główną przyczyną zachodzenia tych procesów jest bezpośrednio lub pośrednio wilgoć. Negatywne oddziaływanie wilgoci nie ogranicza się jedynie do samych materiałów i elementów obiektu. Pośrednio wpływ ten jest równie istotny w przypadku ludzi przebywających w zawilgoconych pomieszczeniach. W tekście zamieszczonym poniżej scharakteryzowano najważniejsze problemy związane z nadmiernym zawilgoceniem.

Obniżenie wytrzymałości materiałów

Podstawowym problemem jest degradacja materiałów wykończeniowych: tynków, malatur, wszelkiego rodzaju materiałów okładzinowych oraz elementów drewnianych i drewnopochodnych. Na skutek ich niewielkiej odporności na wilgoć dochodzi często do nieodwracalnych zniszczeń. Nie bez znaczenia pozostaje również wpływ zawilgocenia na elementy konstrukcyjne obiektu.

W przypadku murów największe zniszczenia obserwujemy w przyziemiu (brak izolacji) i na koronie murów (w przypadku braku elementów osłaniających). Spływająca woda prowadzi również do uszkodzeń lica, efekt ten jest szczególnie widoczny w murach o zmiennej grubości. Zniszczeniom ulegają zarówno mury z ceramiki jak i kamienia.

Przemieszczanie się wilgoci w murze w pierwszym etapie powoduje rozpuszczanie substancji wiążących zapraw i uszkodzenie spoin lub też ich całkowite wymycie. Proces ten powoduje przede wszystkim woda opadowa spływająca w kierunku gruntu. W konsekwencji następuje obniżenie nośności pozbawionych spoin partii muru. Kolejnym etapem jest systematyczne oddzielanie się cegieł, kamieni od muru. Przy intensywnej zmianie poziomu podciągania kapilarnego, wspomniane zjawisko może powodować również woda znajdująca się w gruncie.

Zawilgocone materiały ulegają przyspieszonemu niszczeniu również na skutek cyklicznego zamrażania i odmrażania wody zawartej w porach i kapilarach. Woda znajdująca się w porach materiały i kawernach muru zamarzając zwiększa swoją objętość, co powoduje zniszczenie materiału. Degradacja na skutek tzw. szkód mrozowych jest szczególnie widoczna na elewacjach południowych obiektów ze względu na wielokrotne powtarzanie się procesów zamrażania i odmrażania w ciągu jednego sezonu. Zawilgocenie materiałów powoduje również przyspieszenie korozji chemicznej elementów metalowych, które mogą znajdować się w murach.



Rys. 3.18 Zniszczenia korony murów z cegły ceramicznej spowodowane działaniem wód opadowych



Rys. 3.19 Zniszczenia korony murów z kamienia spowodowane działaniem wód opadowych

Obniżenie izolacyjności cieplnej przegrody

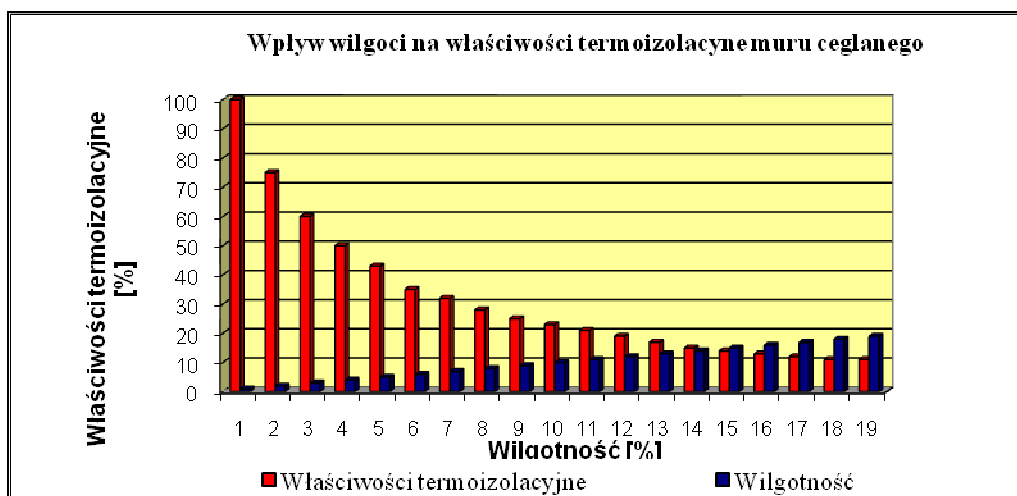
Ochrona przed wilgocią i izolacja cieplna nie mogą być rozważane i oceniane w sposób odrębny, jako że niedostateczna izolacja przed wilgocią redukuje izolację cieplną, a to z kolei może prowadzić do szkód powodowanych przez wilgoć wskutek jej kondensacji. Wilgoć kondensacyjna występuje, bowiem przede wszystkim w pomieszczeniach ze zbyt

wysoką wilgotnością powietrza, niezabezpieczonych albo niedostatecznie zabezpieczonych przed utratą ciepła, z zimnymi ścianami zewnętrznymi, niedostatecznie albo źle wietrzonych.

Wilgotny mur poddawany jest, zgodnie z naturą rzeczy, znacznym termicznym obciążeniom. W okresach mrozu powstaje w powierzchniowych obszarach zawilgoconego muru wysokie ciśnienie powodowane przez zamarzającą wodę. To prowadzi do stopniowego zniszczenia struktury, uszkodzeń tynku i kamienia oraz do powstawania pęknięć i rys, co z kolei powoduje zwiększonego wchłaniania wody. Już niewielki stopień zawilgocenia muru powoduje drastyczne zmniejszenie izolacji cieplnej, jako że wilgoć zwiększa przewodnictwo cieplne i tym samym pogarsza ekonomiczną sytuację budynku na skutek wyższych kosztów energii.[18][37][45]

Ciała kapilarno-porowate zmieniają swoje właściwości pod wpływem wody, która może wnikać w głąb materiału, wypełniając całkowicie lub częściowo jego pory. Następuje wzrost przewodności cieplnej materiału w stosunku do stanu suchego, ponieważ woda o przewodności cieplnej ok. 0,54 W/(m*K) chodzi na miejsce powietrza o przewodności cieplnej ok. 0,024 W/(m*K).

Już kilkuprocentowy wzrost zawilgocenia powoduje znaczne, dodatkowe straty ciepła i możliwość przemarzania zawilgoconych przegród. Przykładowo: cegła ceramiczna w warunkach średnio wilgotnych ma współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda=0,77$ W/(m*K), a dla wilgotności 15% wynosi on już około 1,6 W/(m*K). Ponad dwukrotny wzrost λ , w przypadku murów jednowarstwowych, powoduje analogiczne obniżenie oporu cieplnego muru.[18]



Rys. 3.20 Wpływ wilgoci na właściwości termoizolacyjne muru ceglanego

Procesy niszczenia związane z występowaniem soli

Sole rozpuszczalne w wodzie należą do najgroźniejszych czynników niszczących obiekty budowlane. Dość często można się spotkać ze stwierdzeniem, że to właśnie one są przyczyną największych zniszczeń w obrębie przyziemia budynku. Ich wysokie stężenia mogą prowadzić niekiedy do całkowitego zniszczenia zasolonych partii budynku. Nośnikiem soli w materiałach budowlanych jest woda, a zniszczenia powstają na skutek procesów krystalizacji soli podczas jej odparowywania. Dlatego też wysolenia w dużej mierze odpowiadają miejscom o podwyższonej wilgotności.

Do najczęściej występujących w obiektach soli zaliczyć można: siarczany, chlorki, azotany oraz węglany sodu, potasu, wapnia, amonu oraz żelaza. Pod względem mineralogicznym do najbardziej rozpowszechnionych soli należą: Halit, Sylwin, Bischofit (Chlorki); Nitronatryt, Nitrokalcyt, Nitrokalit, Nitromagnezyt (Azotany); Mirabilit, Arkanit, Epsomit, Kizeryt, Tenardyt, Gips (Siarczany); Termonatryt, Natron (Węglany). W obiekcie niezmiernie rzadko występuje tylko jeden rodzaj soli. W rzeczywistości najczęściej mamy do czynienia z kryształami o mieszanej budowie. [50][130]

Z punktu widzenia chemicznego sole to substancje powstające w wyniku reakcji zobojętniania kwasu zasadą. Odczyn soli zależy od tego, jakie substancje brały udział w procesie jej tworzenia. W przypadku mocnego kwasu i zasady oraz słabego kwasu i zasady będzie on zbliżony do obojętnego. Sole mogą mieć również odczyny kwaśne przy mocnym kwasie i słabej zasadzie i zasadowe w układzie odwrotnym. Pamiętać należy, że związki te mogą wtedy reagować z materiałami budowlanymi tak jak odpowiadające im kwasy i zasady. Z punktu widzenia budownictwa największe znaczenie mają sole łatwo rozpuszczalne w wodzie, a więc takie, w których dość łatwo dochodzi do rozpadu na jony. Skład chemiczny soli jest czynnikiem odpowiadającym za stopień zagrożenia. Ma on bezpośredni wpływ zakres oraz intensywność procesów niszczących związanych z obecnością tych związków w materiale.

Nadmierne zasolenie jest problemem przede wszystkim starych obiektów, które nie posiadają izolacji, a co za tym idzie narażonych na stały kontakt z wilgocią. Problem ten może dotyczyć jednak również obiektów zabezpieczanych, w których izolacje okazały się niedostateczne lub też użyte materiały posiadały wysokie zasolenie pierwotne. Pamiętać należy, że woda wnikająca, a następnie przemieszczająca się w materiałach jest pełna zanieczyszczeń.

Takimi zanieczyszczeniami są również rozpuszczone w niej sole. Do źródeł o największym znaczeniu możemy zaliczyć sole:

- zawarte w materiałach budowlanych,
- podciągane w postaci rozpuszczonej z gruntu,
- trafiające wraz z opadami atmosferycznymi,
- wprowadzane podczas zabiegów konserwacyjnych i impregnacyjnych.

Surowce, z których wytwarzane są materiały budowlane zawierają określone ilości soli rozpuszczalnych. Dodatkowo w procesie wytwarzania materiałów oraz ich wbudowywania mogą powstawać kolejne związki. Dość duże stężenia soli budowlanych występują w spoiwach: cemencie, gipsie i wapnie, ale również w materiałach murowych. W przypadku obiektów zabytkowych, duże ilości soli trafiają do murów wraz z wilgocią podciąganą z gruntu. Dotyczy to przede wszystkim azotanów i chlorków. W związku z powyższym, że w obrębie starych murów często znajdowały się doły z nieczystościami, zabudowania z inwentarzem, w gruncie znajdują się duże ilości azotanów i azotynów. Rozkład obumarłej roślinności powoduje dalsze podwyższenie stężeń tych związków w obrębie obiektów. Duża ilość chlorków powodowana jest stosowaniem soli w okresie zimowym. Sól trafia wtedy wraz z wodą do gruntu, lub też w postaci „błota pośniegowego” bezpośrednio na mury przyziemia. Głównym źródłem soli z grupy siarczanów są reakcje materiałów z zanieczyszczonym powietrzem, oraz efekt tzw. kwaśnych deszczów. Woda deszczowa wraz z rozpuszczonymi tlenkami kwasowymi obecnymi w zanieczyszczonej atmosferze wnika w głąb cegieł, kamieni i zapraw umożliwiając przemiany chemiczne prowadzące do degradacji murów.

Również źle dobrane metody i środki stosowane w pracach konserwatorskich i mogą być przyczyną wtórnego zasolenia obiektów. Przykładem takich prac jest oczyszczanie elewacji murów środkami zawierającymi kwasy lub zasady.

Mechanizm korozyjnego działania soli opiera się na procesach chemicznych i fizycznych, a substancją warunkującą procesy niszczenia jest woda. Sole jako substancje stałe nie przemieszczają się samoczynnie w materiałach. Dlatego też w procesach korozyjnych udział mają te, które bardzo dobrze i dobrze rozpuszczają się w wodzie. Zjawisko przemieszczania się soli nazywamy migracją do powierzchni. W postaci roztworu docierają wszędzie tam gdzie transportowana jest woda, po jej odparowaniu krystalizują. Do najgroźniejszych procesów

związanych z solami zalicza się: krystalizację, higroskopijność, hydratację (uwodnienie), wzrost stężenia, zmianę odczynu roztworu.

Niszczące działanie soli opiera się na zjawisku związanym z krystalizacją i powiększaniem się ich objętości. Powstające ciśnienie jest wystarczające, by w materiale spowodować pękanie ścianek porów, rozluźnianie warstw powierzchniowych, a w następstwie prowadzić do jego rozpadu ziarnistego, łuszczenia się, pęknięcia i rozpadania. Dla znacznej grupy soli ciśnienie to ma wartość znacznie powyżej 1000 atm., a może sięgać nawet 2400. Siły towarzyszące procesowi krystalizacji są tak duże, że po kilku cyklach nawet najbardziej wytrzymałe cegły, kamienie i zaprawy ulegają niszczeniu.[6][50][130]



Rys. 3.21 Korozja solna tynków w murze z kamienia wapiennego



Rys. 3.22 Korozja solna muru z kamienia wapiennego

Destrukcyjne działanie soli może mieć efekt wieloraki. Przy ciągłym transporcie roztworu soli, jej krystalizacja następuje na powierzchni elementu. Możemy wtedy mówić o mniejszym bezpośrednim zagrożeniu destrukcją, ale znacznym pogorszeniu estetyki powierzchni materiału. Sole na powierzchni materiału krystalizować mogą w postaci plam, zacieków, wykwitów, puszystych nalotów i szklistych powłok. Forma ta zależy rodzaju i ilości soli, a również od warunków w jakich następuje krystalizacja.

W sytuacji gdy prędkość dostarczania roztworu jest mniejsza, płaszczyzna odparowywania znajduje się wewnątrz muru. Sole krystalizują wówczas w warstwach tynku, na jego styku z murem lub wewnątrz materiału murowego. Do pewnego czasu brak jest widocznych efektów degradacji, następnie dochodzi do uszkodzeń znacznie poważniejszych niż

w pierwszym przypadku. Uszkodzeniu ulegają wtedy całe fragmenty wypraw tynkarskich, czy też zewnętrznych powierzchni murów.

Pamiętać należy, że sole po procesie krystalizacji w porach, kapilarach i na powierzchni elementu pozostają nadal łatwo rozpuszczalne. Po dostarczeniu niezbędnej ilości wilgoci przechodzą do roztworu, a przy zmianie warunków krystalizują po raz kolejny. Proces ten w zależności od warunków atmosferycznych może przebiegać kilkunastokrotnie powodując kolejne zniszczenia.

Większość soli wykazuje właściwości higroskopijne, tak więc do rozpuszczania nie potrzebuje wody w postaci ciekłej. Wystarczające jej ilości pobierają z wilgotnego powietrza. Efektem takiego procesu są lokalne zawilgocenia, widoczne na materiale murowym i tynkach, w formie ciemnych i wilgotnych plam. Materiały zawierające duże ilości soli pozostają wilgotne przez długi okres w ciągu roku.

Kolejną niekorzystną właściwością części soli budowlanych jest możliwość ich uwadniania. Takie same pod kątem chemicznym sole mogą tworzyć różne kryształy. Zmiana stopnia uwodnienia powoduje również zmianę objętości kryształów. W określonych warunkach temperaturowych nawet sole, które już wykryzalizowały mogą zmienić swoją objętość. Ciśnienie wspomnianej hydratacji jest na tyle wysokie, że powoduje podobne skutki jak przy krystalizacji.[50][130]

Wpływ stężenia soli na procesy niszczenia jest oczywisty. Wraz z jego wzrostem rośnie ilość soli wypełniających kapilary. Mogą być one wypełnione szczelniej i wywierać na nie silniejszy nacisk.

Do oceny stopnia zagrożenia jakie niesie za sobą występowanie soli rozpuszczalnych stosuje się poniższą tabelę. Wyniki badań można przyporządkować trzem przedziałom. Na uwagę zasługują znacznie wyższe wartości dopuszczalne dla siarczanów. Związane to jest z obecnością tych związków już na etapie produkcji materiałów.

Tab. 3.7 Ocena stopnia zasolenia na podstawie stężenia soli. [50]

Rodzaj soli	Niskie [%]	Średnie [%]	Wysokie [%]
Chlorki	< 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
Azotany	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3
Siarczany	< 0,5	0,5 – 1,5	> 1,5

Uzyskane wyniki pozwalają wnioskować o zagrożeniu występującym w badanej partii muru, rozkładzie zasolenia, a także planować ewentualne działania naprawcze. Na ich podstawie projektuje się prace mające na celu odsolenie lub też ograniczenie procesów związanych z niszczącym działaniem soli.

Wzrost zagrożenia korozją biologiczną

Pod pojęciem korozji biologicznej, zwanej też biodeterioracją, w budownictwie rozumiemy zróżnicowane formy niszczenia elementów budowli wywołane działaniem organizmów żywych, tzw. szkodników biologicznych. Są to głównie rośliny zielone, grzyby domowe, grzyby pleśniowe, owady, glony, porosty i bakterie. Podobnie jak w przypadku soli warunkiem występowania większości wymienionych organizmów jest wilgoć. Jej podwyższony poziom odpowiada za intensyfikację procesów korozyjnych.

Kolejnym typem klasyfikacji jest podział na procesy odpowiedzialne za powstawanie zjawisk korozji materiałów i obiektów budowlanych. Gdzie wyróżnić możemy: chemiczną asymilacyjną i dysymilacyjną korozję biologiczną. Pierwsza jest najczęstszą formą tego procesu i ma miejsce wówczas, kiedy materiał jest degradowany z racji swej wartości odżywczej. Druga chemiczna dysymilacyjna biodeterioracja (korozja), występuje gdy metabolity drobnoustrojów uszkadzają materiał[34].

Kolejnym z podziałów jest klasyfikacja skutków, z jakimi mamy do czynienia w trakcie korozji budowlanej, na: higieniczno – sanitarne, techniczne i estetyczne. Skutki higieniczno – sanitarne, polegające na pogorszeniu zdrowotności przebywających w obiektach ludzi i zwierząt. Obecność wyżej wymienionych organizmów może powodować schorzenia dróg oddechowych, narządów wzroku, stawów oraz osłabienie odporności organizmu. Skutki techniczne, polegają przede wszystkim na obniżeniu wytrzymałości elementów i konstrukcji, co prowadzi do ich powolnej degradacji. Porażenie korozją biologiczną ma znaczenie również estetyczne, polegające na obniżeniu walorów estetycznych porażonych elementów.

Do najczęstszych powodów rozwoju korozji biologicznej w obiektach budowlanych możemy zaliczyć:

- wbudowanie do budynku drewna o zbyt dużej wilgotności,
- brak wentylacji przestrzeni konstrukcyjnych stropów, podłóg, ścian, połaci dachowych,

- brak lub niewłaściwe wykonanie izolacji przeciwwilgociowych budynku,
- wbudowanie drewna niezabezpieczonego przed korozją biologiczną lub zabezpieczonego nieodpowiednio do stopnia zagrożenia degradacyjnego,
- błędy projektowe i wykonawcze dotyczące niezgodnego ze sztuką budowlaną rozwiązania konstrukcji przegród budynku, prowadzące do braku ochrony cieplno – wilgotnościowej,
- wprowadzenie do budynku zagrzybionych lub porażonych przez owady materiałów budowlanych pochodzących z rozbiórki,
- wbudowanie drewna i innych materiałów chłoniących wilgoć bez stosownych izolacji przeciwwilgociowych od muru i betonu oraz bez zabezpieczenia chemicznego w tych miejscach,
- nieszczelności pokrycia dachowego i usterki systemu odprowadzania wód - opadowych,
- nie zauważone i nie usunięte w porę awarie instalacji wodno-kanalizacyjnych i c.o.,
- niezgodne z przeznaczeniem użytkowanie pomieszczeń budynku,
- nieprawidłowo ukształtowany teren wokół budynku, który nie zapewnia poprawnego odprowadzenia wód powierzchniowych,
- brak należytej bieżącej i okresowej konserwacji budynku.[119]



Rys. 3.23 Kolonie glonów na przewilgoconym murze z cegły ceramicznej



Rys. 3.24 Porastanie murów z opoki roślinami zielonymi

4. INIEKCJE

Przez pojęcie iniekcja w murze rozumiemy wprowadzenie iniektu, który ma za zadanie wzmocnienie muru przez wypełnienie rys i pustek, lub wytworzenie przepony wodoszczelnej.

Iniektami nazywamy związki, które wprowadzone w dany ośrodek powodują, w wyniku zachodzących procesów wiązania, twardnienia lub żelowania, zmianę jego cech fizycznych. [66] Iniekcje zasadniczo możemy podzielić na: iniekcje wzmacniające i iniekcje „osuszające”.

Iniekcje wzmacniające stosuje się w ścianach, szczególnie starych i zniszczonych, nie jednorodnych w środku. Występują w nich również niewypełnione fugi, mikrorysy czy nawet większe pęknięcia, a także niejednorodności w budowie (wypełnienie drobnym kruszywem lub zaprawą środkowej części muru). Iniekcja w takiej sytuacji wymaga podjęcia pewnych środków zapobiegawczych: przede wszystkim trzeba zasklepić pustki i pęknięcia w murze. Do tego celu stosuje się specjalne, chłonne kapilarnie upłynnione zaprawy (suspensje), mające zdolność wypełniania niewielkich nawet pustek i rys czy też scalania luźnych składników muru. [37][64][67][122]

Iniekcje „osuszające” polegają na wytworzeniu przepony blokującej podciąganie wilgoci. Do tego rodzaju iniekcji dwa rodzaje stosowanych preparatów: uszczelniające i hydrofobizujące. Te pierwsze zmniejszają promienie porów, kapilar i ograniczają podciąganie kapilarne. Natomiast preparaty hydrofobizujące ścianki porów i kapilar powodują zmianę kąta zwilżania do wartości powyżej 90°. Wówczas ruch wilgoci z dołu zostaje uniemożliwiony. [5][110][134]

4.1. INIEKCJE CHEMICZNE – INFORMACJE PODSTAWOWE

Iniekcję wykonuje się w części cokołowej budynku, powyżej poziomu terenu, lub w ścianach fundamentowych, zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych, powyżej poziomu obciążenia wodą pod ciśnieniem lub zalegającą wodą opadową. Iniekcji nie wolno przeprowadzać w obszarach muru narażonych na obciążenia wodą ciśnieniową. [37][122]

Odstęp (zawsze osiowy) między otworami zależy od chłonności substancji muru, zdolności preparatu do penetracji w strukturę ściany oraz sposobu wykonywania iniekcji.

Im mniejszy odstęp otworów, tym większa pewność skutecznego wykonania przepony, jednakże należy brać tu pod uwagę także względy bezpieczeństwa budynku (zwłaszcza przy

iniekcji wykonanej w słupach i filarach). Trzeba również pamiętać o konieczności usunięcia zniszczonego tynku do wysokości ok. 80 cm powyżej widocznej linii zawilgocenia. [37][122]

Może także wystąpić konieczne zabezpieczenia ściany przed niekontrolowanym wyciekami płynu iniekcyjnego przez odsłonięty pas lica ściany. Przegrody, szczególnie stare i zniszczone, nie są w środku jednorodne. Występują w nich również niewypełnione fugi, mikrorysy czy nawet większe pęknięcia, a także niejednorodności w budowie (wypełnienie drobnym kruszywem lub zaprawą środkowej części muru). Iniekcja w takiej sytuacji wymaga podjęcia pewnych środków zapobiegawczych: przede wszystkim trzeba zasklepić pustki i pęknięcia w murze. Do tego celu stosuje się specjalne, chłonne kapilarnie upłynnione zaprawy (suspensje), mające zdolność wypełniania niewielkich nawet pustek i rys czy też scalania luźnych składników muru. Jeśli się zaniecha tych środków przygotowawczych, płyn iniekcyjny wycieknie w sposób niekontrolowany i nie zapewni rozprowadzenia preparatu w przekroju muru. [66][109][149]

Przy opracowywaniu projektu wykonania przepony poziomej należy brać pod uwagę tzw. czynniki niepewności (ryzyka), które trzeba uwzględnić i zminimalizować już na etapie projektu renowacji. Będą to: dobór preparatu iniekcyjnego (zależny m.in. od współczynnika przesiąknięcia wilgocią muru), rozstaw otworów (związany z ilością wilgoci w murze i zdolnością preparatu iniekcyjnego do penetracji w kapilary oraz rodzajem muru), wspomnianą niejednorodność muru (występowanie rys) i pustek oraz sposób, w jaki preparat iniekcyjny przerywa podciąganie kapilarne. [37][122]

4.1.1. Historia stosowania iniekcji

Początki metod iniekcyjnych sięgają lat 70-tych ubiegłego wieku. W Polsce zaczęto stosować iniekcję na większą skalę w latach 80-tych gdyż jako zabieg stosunkowo prosty technicznie dawał możliwości osuszania murów lub wytwarzania w nich przepon przeciwwilgociowych. Z powodu, że większość obiektów wzniesionych do II Wojny Światowej nie posiadało w ogóle lub miało nieskuteczne poziome i pionowe izolacje przeciwwilgociowe ścian, techniki iniekcyjne stały się popularną metodą osuszania murów. Mimo teoretycznie poprawnych założeń tych metod w praktyce po wieloletnich badaniach wiele z nich okazało się nie skutecznych część mimo swej skuteczności zostało zastąpione przez metody prostsze albo

bezpieczniejsze. Można tu przytoczyć przykład środka o nazwie handlowej Sarsil, który został wycofany z użycia gdyż wydzielał szkodliwe substancje lotne.

Metoda Politechniki Krakowskiej

Jest to metoda uszczelniająca i hydrofobizująca, ciśnieniowa. Preparat uszczelniający stanowi szkło wodne sodowe z wodą w stosunku 1:1 do 1:0,5 z dodatkiem fluorokrzemianu sodu w ilości 5-15% w stosunku do szkła wodnego. Preparat hydrofobizujący natomiast stanowią: żywica metylosilikonowa w ilości 10-15%, alkohol etylowy w ilości 50-60% i rozpuszczalnik organiczny zwykle w postaci benzyny łakowej w ilości 30-35%. Kanały o średnicy 20 mm wierci się w rozstawie, co 25 cm w dwóch rzędach przesuniętych względem siebie o połowę ich odległości. Rzędy znajdują się w odległości 10 cm. Preparat iniekcyjny wprowadza się pod ciśnieniem 0,4 MPa, zwiększając go w razie potrzeby. Najpierw wtłacza się środek uszczelniający, a następnie preparat hydrofobizujący. Fluorokrzemian przyspiesza twardnienie. W wyniku odciągania przez alkohol wody od szkła wodnego następuje krystalizacja krzemianu sodowego.[67]

Termoiniekcja

Metoda termoiniekcji jest metodą chemiczną hydrofobizującą, wytwarzającą przeponę i zapewniającą wstępne podsuszenie muru w krótkim czasie. Polega ona na nawierceniu w oznaczonym poziomie rzędu otworów w odstępach 15 - 20 cm o nachyleniu ok. 30° i następnie na skierowaniu do nich, specjalnym urządzeniem termo-wentylacyjnym, ogrzewanego powietrza, co powoduje zmniejszenie zawilgocenia muru poniżej 9%. Następnie w nawiercone otwory wprowadza się preparat hydrofobizujący na ogół w sposób bezciśnieniowy. Proces podsuszania muru trwa od jednej do kilku dób i zależy od pierwotnej wilgotności muru, a także jego grubości. [99][100]

Do hydrofobizacji stosuje się zwykle roztwór żywicy metylosilikonowej w benzynie lakowej, tzw. Sarsil H-1 4/R, lub roztwór tej żywicy w nietoksycznej izoparafinie (Sarsil H-15). Stosowanie niekiedy Ahydrosilu K, stanowiącego nietoksyczny roztwór tejże żywicy w ługu potasowym, jest niekorzystne ze względu na gorszą penetrację i długi czas twardnienia. Po wprowadzeniu preparatu hydrofobizującego mur poddaje się ponownie osuszaniu termodyfuzyjnemu (z użyciem tych samych urządzeń) w celu odparowania rozpuszczalnika oraz

przyspieszenia utwardzenia składników hydrofobizujących i dodatkowego obniżenia zawilgocenia hydrofobizowanej strefy.[67][99][100]

Elektroiniekcja

Metody te polegają na wykorzystaniu zjawiska elektroosmozy do wstępnego podsuszenia muru do wilgotności poniżej 10% jako przygotowanie do właściwej iniekcji preparatem hydrofobizującym, bezciśnieniowo. Można tu, zatem wyróżnić dwa etapy pracy:

- etap pierwszy - wstępne podsuszenie muru do uzyskania wilgotności max 10%, uzyskiwane np. przez założenie instalacji elektrycznej zasilanej prądem stałym o napięciu 24V,
- etap drugi - wprowadzenie preparatów hydrofobizujących do wcześniej wykonywanych w murze kanałów. Jest nim m.in. SARSIL H-14 zawierający 20-50% żywicy metylosilikonowej, rozcieńczonej w rozpuszczalniku organicznym (zwykle w benzynie łkowej) w stosunku 1:10 do 1:5. Ostatnio dla wyeliminowania toksycznej benzyny łkowej stosuje się SARSIL H-15 na nietoksycznej izoparafinie. [109][111][119]

Generalnie wśród metod elektroiniekcyjnych rozróżnić należy trzy zasadnicze: elektroosmozę z hydrofobizacją, elektroiniekcję dynamiczną i elektroiniekcję aktywną. Różnią się one między sobą technologią wykonania, a nadto tym, że w metodzie aktywnej stosuje się preparat ELUK również hydrofobizujący, a charakteryzujący się przewodzeniem prądu, co pozwala na wyeliminowanie spadku napięcia. [82][109][111][119]

Biorąc pod uwagę długi i o ograniczonej skuteczności proces podsuszania wstępnego metodą elektroosmozy jak i konieczność zakładania instalacji elektrycznej oraz wiercenia dodatkowych kanałów do osadzania elektrod obecnie nie zaleca się stosowania tych metod. [82][109][111]

Iniekcja parafinowa

Metoda opracowana przez metoda dr. inż. J. Wójcika z Olsztyna. Jest to odmiana iniekcji termicznej gdzie dzięki urządzeniu zwanemu termopaker możliwe jest nasączenie muru parafiną. W metodzie tej proces osuszania następuje równocześnie z samouszczelnianiem muru.[146][147] Ta metoda jest obecnie stosowana w firmowym systemie W-ART.

Iniekcje preparatami hydrofobowymi na bazie rozpuszczalników organicznych

W skład płynów hydrofobowych stosowanych w latach 80-tych w naszym kraju wchodziła zawsze żywica metylosilikonowa, rozpuszczona zazwyczaj w benzynie lakowej. Płyny nosiły różne nazwy: Silak M 11, Silak M 114, , Sarsil.

Po badaniach kontrolnych pod koniec lat 80-tych Państwowy Zakład Higieny zakazał używania płynów hydrofobowych zawierających lotne substancje szkodliwe dla zdrowia. Mogą one przenikać do pomieszczeń osuszanych budynków, zanieczyszczając powietrze w stopniu niebezpiecznym dla zdrowia innych użytkowników.[82] Stosowanie rozpuszczalników organicznych w iniekcji ma jeszcze jeden negatywny aspekt, powodują one bowiem, pulweryzację spoiwa na skutek jego dehydratyzacji, co w efekcie prowadzi do osłabienia konstrukcji murów w strefie iniekcji. W celu zmniejszenia groźby niebezpiecznego zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniach węglowodorami aromatycznymi zawartymi w benzynie lakowej jedna z firm do sporządzania płynu hydrofobowego (płyn o nazwie Eluk) zastosowała alkohol, etylowy zamiast benzyny. [89]

Obecnie nie stosuje się środków hydrofobowych na bazie rozpuszczalników organicznych mimo ich dużej skuteczności, zostały one wyparte z rynku przez środki działające przy dużych wilgotnościach muru.

4.1.2. Podział metod ze względu na działanie preparatu

Jak już zostało wspomniane w punkcie 4 istnieją dwie grupy preparatów aplikowanych podczas wykonywania przepon metodami iniekcyjnymi: uszczelniające i hydrofobizujące. Te pierwsze zmniejszają promienie porów, kapilar i ograniczają podciąganie kapilarne. Natomiast preparaty hydrofobizujące ścianki porów i kapilar powodują zmianę kąta zwilżania do wartości przy której transport kapilarny jest niemożliwy.

Preparaty hydrofobizujące

Podstawowym kryterium przydatności określonego preparatu jest jego zdolność do hydrofobizacji materiału w wymaganym stopniu. Musi on jednocześnie wykazywać niezbędną zdolność penetracji w kapilarnie porowaty materiał, wykazujący mniejsze lub większe zawilgocenie. Preparat taki nie powinien ulegać w murze zmianom powodującym zanik jego właściwości hydrofobizujących. Efekt przepony uzyskuje się, gdy:

- preparat ma wymagane właściwości hydrofobizujące, jest rozpuszczalny w dobrym rozpuszczalniku i charakteryzuje się wymaganą zdolnością penetracji, co jest związane również z wielkością molekuł związku krzemoorganicznego,
- materiał nasycony jest wystarczająco podatny na wnikanie preparatu hydrofobizującego, co jest związane z porowatością danego materiału oraz stopniem przesycenia,
- ilość użytego preparatu hydrofobizującego na 1 metr przekroju poprzecznego ściany jest wystarczająca.

Zostało potwierdzone doświadczalnie, że najlepsze efekty uzyskuje się stosując niskomolekularne substancje hydrofobizujące, rozpuszczone w dobrym rozpuszczalniku organicznym. Preparat taki dobrze się rozprzestrzenia w materiale, a żywica przyczepia się łatwo do podłoża i ulega pożądanej kondensacji. Preparaty, które po wprowadzeniu do muru mają działanie również uszczelniające, nie powinny zbyt szybko reagować, aby nie pojawiły się utrudnienia w ich penetracji. W związku z brakiem możliwości stosowania, w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego pobytu ludzi, preparatów z rozpuszczalnikami organicznymi. Od kilkunastu lat powszechnie stosowane są preparaty rozcieńczane wodą. [37][119] [122]

Preparaty uszczelniające

Są to wodne suspensje różnych substancji mineralnych znajdujących się w stanie bardzo dużego rozdrobnienia, takich jak cementy, pyły krzemionkowe itp. Oczekiwane uszczelnienie materiału murowego trudno jest uzyskać. Przede wszystkim zdolność przemieszczania się w porach i kapilarach materiału zastosowanej substancji jest, jak można sądzić, niewielka, nawet wówczas, gdy ulega ona częściowemu rozpuszczeniu w wodzie.

Oczekiwanie, że rozpuszczone w wodzie składniki cementu i użyte dodatki zaczną krystalizować w porach i kapilarach materiału i w ten sposób uszczelniać go, nasuwa wiele wątpliwości. Chodzi tu zarówno o zdolność rozprzestrzeniania się zastosowanej substancji w porowatym materiale, jak i fakt, że nawet w przypadku zaistnienia wzrostu kryształów pozostają mikropory stwarzające możliwość kapilarnego ruchu wody. Stosowanie w takich suspensjach jako składnika dodatkowego wysokoalkalicznych związków, np. szkła wodnego itp., powoduje wprowadzanie do murów pierwiastków tworzących łatwo rozpuszczalne w wodzie sole, które mogą nie tylko dodatkowo zawilgacać mur, ale też powodują występowanie na jego powierzchni nieestetycznych, białawych wykwitów. [37][101][109] [119] [111]

4.1.3. Podział metod pod względem wartości ciśnienia.

Niezwykle istotnym parametrem jest ciśnienie robocze wykonywania iniekcji. W dużej mierze odpowiada ono za efekt wypełniania porów i kapilar w murze. Ze względu na jego wartość wyróżnia się trzy rodzaje iniekcji: grawitacyjną, niskociśnieniową, wysokociśnieniową. Rodzajem iniekcji niskociśnieniowej jest tzw. iniekcja impulsowa.

Metoda iniekcji grawitacyjnej

Metoda ta rozpowszechniona była w latach 70-tych XX wieku, obecnie zaś jest stosowana rzadziej. Do wykonywania iniekcji bezciśnieniowej nadają się preparaty o niskiej lepkości, takie jak silany, mikroemulsje silikonowe, preparaty na bazie krzemianów oraz ogrzane parafiny. Polega ona na wprowadzeniu środków chemicznych pod wpływem siły ciężkości w otwory o średnicy 2 – 3cm, usytuowane pod kątem 15 – 45 °. Głębokość otworów sięga 3/4 przekroju ściany lub 8 – 10cm od powierzchni przeciwnej do nawierceń. Osiowy rozstaw otworów zależy od chłonności ściany, nie powinien on jednak przekraczać 10-12,5cm. Otwór taki powinien przecinać przynajmniej jedną spoinę poziomą. Przy grubościach ścian powyżej 60 cm zaleca się wykonywanie iniekcji dwustronnie, wówczas głębokość otworu winna się równać 2/3 grubości ściany. Roztwory wprowadza się przez perforowane końcówki węży gumowych osadzonych i uszczelnionych w murze. Węże są zakończone lejkiem, do którego wlewa się roztwory. [35][59][66][109][149]

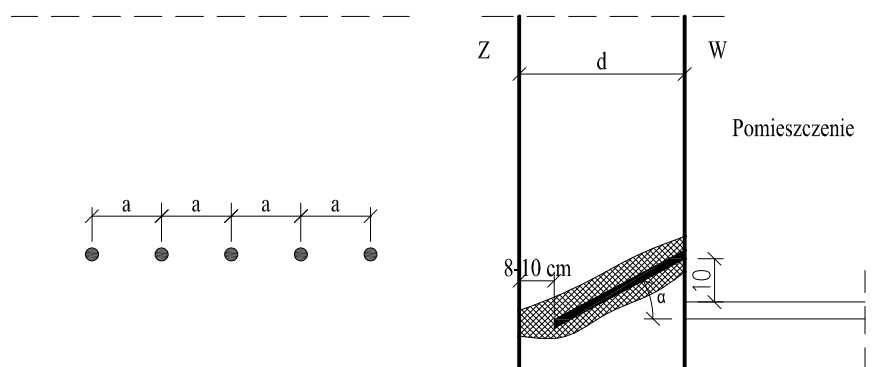
Doświadczenie praktyczne wskazują na możliwość wypełnienia tym sposobem makrokapilar o średnicy większej od 0,1 μm , a więc jedynie części porów transportujących kapilarnie wilgoć. Mimo że angielscy naukowcy S.J.J. Anson i W.D. Hoff w 1988r. opublikowali badania, w których udowodnili, że metoda iniekcji bezciśnieniowej jest mało skuteczna w porównaniu do metod ciśnieniowych, to do dzisiaj stosują ją uznani liderzy rynku izolacji. [37][119][122]

Metoda iniekcji niskociśnieniowej

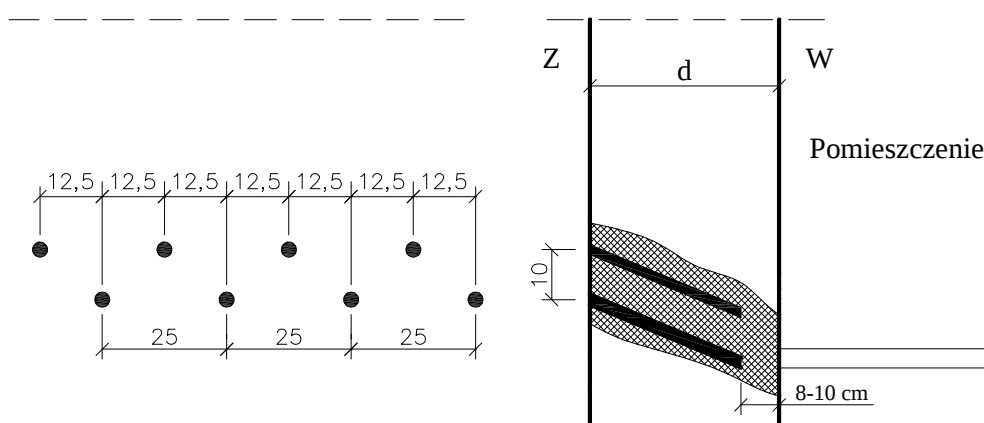
W odróżnieniu do poprzedniego sposobu wprowadzania iniektu podczas iniekcji niskociśnieniowej wykorzystuje się ciśnienie o wartości od 0,3 do 1,5 MPa. Trudno jest przy takim ciśnieniu liczyć na wypełnienie mikroporów kapilarnych o średnicy 0,01 – 0,1 μm , mogą jedynie zostać wypełnione makropory kapilarne o średnicy większej niż 0,1 μm . Zawartość makroporów w ceglach i zaprawach cementowych oraz cementowo-wapiennych jest duża.

Dlatego też istnieje możliwość znacznego wypełnienia porów w przekroju przegrody budowlanej.

Odległość między otworami wykonanymi w dwóch rzędach wynosi 25cm, a pomiędzy rzędami 10cm. Przesunięcie otworów w rzędach wynosi 12,5cm. W innym rozwiązaniu, opartym na zagranicznych doświadczeniach praktycznych, proponuje się odległości pomiędzy otworami $\varnothing$ 12mm równą od 10 do 12cm, lub od 12 do 15cm, a odległość pomiędzy rzędami 8cm, w zależności od lepkości środka iniekcyjnego.[119]



Rys. 4.1 Zalecenia geometryczne dotyczące iniekcji; przekrój przez ścianę zewnętrzną Z - środowisko zewnętrzne, W – środowisko wewnętrzne, d – grubość przegrody $\alpha = 25^\circ$, a – odległość między otworami 15-17cm, otwory średnicy 2-3 cm.



Rys. 4.2 Rozmieszczenie dwóch rzędów otworów. Z - środowisko zewnętrzne, W – środowisko wewnętrzne, d – grubość przegrody

Metoda iniekcji wysokociśnieniowej

Ten sposób uszczelniania dotyczy tylko murów o bardzo dużej wytrzymałości, gdyż podczas iniekcji jest wywierane duże ciśnienie, wynoszące od 1,5 do 10 MPa. Przeważnie stosuje się ciśnienie 2 –3 MPa. Do wypełniania kawern w murach i uszczelniania całych murów od strony gruntu wykorzystuje się piankę poliuretanową. Ogólnie przyjmuje się, że ciśnienie nie powinno być większe niż 1/3 wytrzymałości materiału na ściskanie, jednak w celu uzyskania większego niż 50 % wypełnienia porów wartość tę praktycznie przekracza się. Wartość wytrzymałości materiału na ściskanie powinna być więc większa niż 4,5 MPa przy ciśnieniu 1,5 MPa i 30 MPa przy wartości maksymalnej ciśnienia równej 10 MPa. Dotyczy to przede wszystkim murów wykonanych z cegieł pełnych klasy, co najmniej 7,5, cegły klinkierowej lub klinkieru domowego.[46][119][122]

Przy ciśnieniu przekraczającym 10 MPa sposób ten może być skuteczny w zakresie mikropilar o średnicy mniejszej niż 0,01 μm . Popularnym środkiem iniekcyjnym było szkło wodne potasowe stosowane w ilości od 2 do 2,5 kg/m^2 przekroju. Produktami reakcji chemicznych są żel krzemionkowy i kwas metylokrzemowy. Stosuje się również poliuretany i epoksydy. [119][122]

W murach starych, z którymi najczęściej jest do czynienia podczas wykonywania prac, iniekcja wysokociśnieniowa może spowodować lokalne zniszczenie słabej zaprawy wapiennej lub cegły. [46][119][122]

Iniekcja impulsowa

Iniekcja impulsowa polega na podawaniu pod ciśnieniem porcji środka iniekcyjnego, przy czym regulowane są: długość trwania impulsu ($0,25 \div 2,5\text{s}$), i przerwa pomiędzy impulsami ($1\text{min} \div 10\text{min}$). Zastosowana mikroemulsja silikonowo-siloksanowa wytwarza przeponę poziomą o grubości $25 \div 30\text{ cm}$. Odwierty wykonuje się w odstępach $10 \div 12\text{ cm}$, w jednym rzędzie, średnica otworów $18 \div 20\text{ mm}$, a kąt nachylenia w stosunku do poziomu wynosi ok. 15° . Otwory mają długość o 5 cm mniejszą od grubości ściany. Odwierty oczyszcza się mechanicznie lub poprzez przedmuchiwanie sprężonym powietrzem. W wykonanych otworach mocuje się lance iniekcyjne lub iniektory.[23]

Pompa do iniekcji pracuje automatycznie, niezbędne jest natomiast ustawienie częstości oraz czasu trwania impulsowego włączania preparatu iniekcyjnego. Czas trwania iniekcji

uzależniony jest bezpośrednio od istniejących warunków fizycznych murów. Na początku procesu iniekcji ustawia się długie czasy iniekcji (impulsów) i krótkie przerwy pomiędzy nimi. Materiał na początku infekowania jest w stanie przyjąć duże ilości preparatu. Wraz z upływem czasu impulsy są skracane i wydłużany jest czas przerw. [23][37]

4.2. PREPARATY HYDROFOBOWE

Środki do hydrofobizacji materiałów budowlanych były już stosowane od dawna w budownictwie. Początkowo stosowano proste związki takie jak klej kostny, żelatynę, zaliczane do preparatów pochodzenia organicznego. Z czasem w użyciu znalazły się preparaty nieorganiczne: szkło wodne, kwas fluorowodorowy, woda barytowa. W niektórych przypadkach zastosowanie preparatu miało wręcz negatywny skutek na zabezpieczany materiał. Zachodzące procesy uboczne powodowały uszkodzenia struktury materiału, co sprawiało że środki te były wykluczane z zastosowań konserwatorskich.

4.2.1. Związki krzemoorganiczne – Informacje ogólne i podział

W związku z tym, że większość preparatów stosowanych do wytwarzania przepon, na zasadzie hydrofobizacji materiału, opiera się na związkach krzemoorganicznych w punkcie niniejszym omówione zostaną zasady powstawania i podział tych związków.

Pierwszy związek krzemoorganiczny, otrzymał J. J. von Ebelmen w 1845 roku, a był to ester etylowy kwasu ortokrzemowego (tetraetoksylan). W kolejnych latach 1863 – 1880 następował szybko rozwój syntezy związków krzemoorganicznych. W tym okresie Ch. Fridel i J. Craftis otrzymali pierwszy związek zawierający wiązanie krzemu z węglem (tetraetyloksylan) : $2\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2 + \text{SiCl}_4 \rightarrow 2\text{ZnCl}_2 + (\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{Si}$. Jednak największe zasługi w dziedzinie syntezy związków krzemoorganicznych ma F. S. Kipping, który w 1904 roku zastosował reakcję V. Grignarda do otrzymania związków krzemoorganicznych, dzięki czemu odkrył międzycząsteczkową kondensację silanoli. Reakcja ta, w następstwie prowadzi do otrzymania polisiloksanów, znanych jako związki polimerowe.[75]

Krzem został zidentyfikowany jako pierwiastek przez Antoine Lavoisiera w 1787. Humphry Davy, w 1800 r. błędnie uznał, że krzem jest związkiem chemicznym i opinia ta przetrwała aż do 1824 r. kiedy to Jöns Jacob Berzelius otrzymał czysty krzem z krzemionki SiO_2 , przeprowadzając ją kwasem fluorowodorowym w SiF_4 i redukując go potasem. Krzem w

naturalnym środowisku występuje jako krzemień. Krzemień - skała osadowa, skrytokrystaliczna, krzemionkowa (biochemiczna lub chemiczna), występująca w formie kulistych, bulwiastych, bochenkowatych lub soczewkowatych konkrecji w obrębie skał niekrzemionkowych reprezentowanych przez wapienie, margle, dolomity. Z utworami otaczającymi tworzy ostre granice, co odróżnia je od czertu. Zwykle jest pokryty jasną korą krzemionkową, bardziej miękką od samego krzemienia. Zawartość krzemionki w krzemieniu zwykle przekracza 90% masowych. Jest on zazwyczaj koloru czarnego, brązowego lub szarego, zbity i bardzo twardy. Tworzy konkrecje (niekiedy skupienia warstwowe) głównie w wapieniach, marglach i opokach, zwłaszcza wieku kredowego i jurajskiego.[55][63][68]

Krzem należy do tej samej grupy układu okresowego co węgiel i ma do niego najbardziej zbliżone właściwości. Sam krzem jest pierwiastkiem czterowartościowym i jest mało aktywny chemicznie. W temperaturze pokojowej reaguje z fluorem, zaś po podgrzaniu reaguje z tlenem, tworząc krzemionkę (dwutlenek krzemu SiO_2) oraz z fluorowcami. Występuje przeważnie w stopniu utlenienia +4, zaś sporadycznie jako -4. Krzem tworzy łańcuchy krzem-krzem, krzem-azot-krzem oraz krzem-tlen-krzem. Istnieje bardzo liczna grupa związków krzemu (około 300.000), lecz jest ich znacznie mniej niż związków węgla (który należy do tej samej grupy układu okresowego pierwiastków i posiada bardzo zbliżone właściwości). [75] [21] [54] [63][68]

Krzem nie ulega działaniu kwasów za wyjątkiem mieszaniny kwasu azotowego i fluorowodorowego w wyniku reakcji, tworzy się kwas fluorokrzemowy ($\text{H}_2[\text{SiF}_6]$). Kwas ten po ogrzaniu rozkłada się w następujący sposób:



Sam krzem bardzo łatwo rozpuszcza się w alkaliach:



Związki krzemoorganiczne są to związki organiczne, których cząsteczki zawierają atom krzemu czterowartościowego związany z atomami wodoru, węgla, fluorowca, tlenu lub azotu. Związki krzemoorganiczne dzielimy na dwie grupy: związki zawierające w cząstce jeden atom krzemu – monomery oraz związki zawierające dwa lub więcej atomów krzemu – oligomery i polimery. [21] [54][75]

Monomery są głównie wykorzystywane do otrzymywania preparatów hydrofobizujących, gdyż samoczynnie lub w obecności katalizatora ulegają hydrolizie. W preparatach stosowanych

do iniekcji monomery występujące w formie wolnej występują rzadko, częściej w ich skład wchodzi oligomery i polimery siloksanowe.

Tab. 4.1 Grupy funkcyjne monomerów[75]

$\begin{array}{c} \text{X} \\ \\ \text{X}-\text{Si}-\text{X} \\ \\ \text{X} \end{array} \quad (4.3)$	Czterofunkcyjne – związki, w których występują cztery grupy mogące wchodzić w reakcję tworząc polimery usieciowane przestrzennie Gdzie: X – F, Cl, Br, J lub grupa alkoksylowa, aryloksylowa lub acetoksylowa.
$\begin{array}{c} \text{X} \\ \\ \text{R}-\text{Si}-\text{X} \\ \\ \text{X} \end{array} \quad (4.4)$	Trójfunkcyjne, czyli związki, w których występują trzy grupy reaktywne, w wyniku ich polikondensacji otrzymujemy polimery przestrzenne usieciowane
$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{X}-\text{Si}-\text{X} \\ \\ \text{R} \end{array} \quad (4.5)$	Dwufunkcyjne, czyli związki o dwóch grupach reaktywnych i dwóch rodnikach węglowodorowych, tworzą one polimery liniowe
$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R}-\text{Si}-\text{X} \\ \\ \text{R} \end{array} \quad (4.6)$	Jednofunkcyjne, o jednej grupie reaktywnej zdolne do tworzenia dwusiloksanów lub wykorzystywane do zakończenia łańcuchów polisiloksanów

Związki zawierające w cząstce jeden atom krzemu – monomery :

- Związki zawierające wiązanie Si-C
 - o Alkilo- i arylosilany o ogólnym wzorze $\text{R}_n\text{SiH}_{4-n}$
 - o Alkilo- i arylochlorosilany o ogólnym wzorze $\text{R}_n\text{Si}(\text{OH})_{4-n}$ [75]
- Związki zawierające wiązanie Si – O – C
 - o Alkoksy- i aryloksysilany o ogólnym wzorze $(\text{RO})_4\text{Si}$
 - o Alkoksy- i aryloksychlorosilany o ogólnym wzorze $(\text{RO})_n\text{SiCl}_{4-n}$
 - o Alkoksy i aryloksysilanoole o ogólnym wzorze $(\text{RO})_n\text{Si}(\text{OH})_{4-n}$ [75]

Związki wielkocząsteczkowe takie jak oligomery i polimery otrzymujemy z monomerów pochodnych silanu. Do najczęściej stosowanej metody zaliczamy metodę opartą na hydrolizie grup funkcyjnych, która prowadzi do powstania grup silanowych przy atomie krzemu. Polimery są to substancje chemiczne o bardzo dużej masie cząsteczkowej, które składają się z wielokrotnie powtórzonych jednostek zwanych merami. Podobnie jak oligomery, lecz z jedną małą różnicą oligomery zawierają mniej fragmentów. [21][54] [75]



Szybkość hydrolizy zależy od liczby rodników węglowodorowych, polarności wiązania Si-X oraz liczby grup funkcyjnych. Jej szybkość wzrasta wraz ze wzrostem polarności wiązania oraz wraz ze wzrostem liczby grup funkcyjnych, maleje natomiast wraz ze wzrostem wielkości i objętości rodnika węglowodorowego. [21][54] [75]

Związki zawierające dwa lub więcej atomów krzemu – oligomery i polimery:

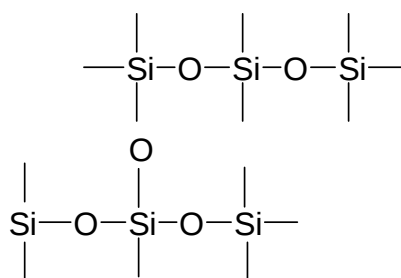
- Związki o wiązaniu Si – Si,
- Związki o wiązaniu Si - O – Si czyli siloksany, [75]
 - o Siloksany łańcuchowe



- o Siloksany pierścieniowe



- o Siloksany rozgałęzione



(4.13)

Obecnie najbardziej popularne są środki krzemoorganiczne na bazie alkoksylanów i żywic silikonowych oraz metylosilikonianów sodu lub potasu. Jednak nawet te najbardziej popularne i najczęściej używane środki również posiadają wady. W przypadku alkoksylanu udział wody w reakcji kondensacji oraz powolny przebieg tej reakcji powoduje iż efekty uzyskujemy dopiero po kilku tygodniach od zastosowania preparatu na bazie alkoksylanów. Może to spowodować, iż część alkoksylanu nie wniknie w materiał ale odparuje. Środki na bazie żywic silikonowych stosowane w postaci roztworów w rozpuszczalnikach, penetrują na bardzo małą głębokość. Preparaty na bazie metylosilikonianów mają duże skłonności do zwiększenia zasolenia w materiale co skutkuje tym, iż po impregnacji mogą powstawać naloty na powierzchni. [21] [54]

4.2.2. Typy preparatów stosowanych do iniekcji hydrofobizujących

Szczegółowe zapoznanie się ze środkami iniekcyjnymi, stosowanymi w praktykach konserwatorskich, wydaje się być sprawą nader ważną. Zrozumienie mechanizmów chemicznych, jakie występują podczas działania takich środków, nie może obyć się bez poznania ich składników. Do iniekcji hydrofobizujących stosowane są preparaty, o bazie: alkalisilikatowej, alkalimetylosilikonatowej, związków propylu, silanów, siloksanów, silikonianów, żywic silikonowych, mikroemulsji silikonowych, wieloskładnikowej (kombinowanej).

Alkalisilikaty (krzemiany alkaliczne)

Alkalisilikaty, silikaty sodowe i potasowe, potocznie nazywane szkłem wodnym, stosowane są już od dziesięcioleci do osuszania murów. Silikaty są solami kwasu krzemowego, wytwarzanymi przykładowo w wyniku reakcji kwarcu z ługiem sodowym albo potasowym w wysokich temperaturach. Jeśli amorficzny albo krystaliczny silikat (krzemian) zostanie

stopiony z węglanem potasu, krzemianowe wiązanie zostanie poprzerywane jonami potasu i powstanie krzemian potasowy. O ile dawniej stosowano przeważnie związki sodu, o tyle dziś, nawet, jeśli rzadko, to stosowane są głównie krzemiany potasu albo szkło wodne potasowe. Te produkty są wytwarzane z silnie alkalicznego, wodnego roztworu. Często do iniektu dodawane są stabilizatory i inne dodatki pomocnicze.[21][37][122]

Wprowadzone do systemu porów alkalisilikaty wytwarzają z wolna żel krzemionkowy (silikażel), który zwęża kapilary materiału budowlanego (promień kapilar $\rightarrow 0$). W ten sposób ulega, przynajmniej teoretycznie, redukcji kapilarne podciąganie. Z powodu wyparowania wody zachodzi jednak kurczenie i zanikanie silikażelu, a w efekcie pojawiają się tzw. wtórne kapilary. To może prowadzić do ponownego pojawienia się aktywności kapilarnej po całkowitym wyschnięciu silikażelu. Na skutek, czego zachodzić może ponownie kapilarne podciąganie i zawilgocenie materiału budowlanego. Ponadto wraz z silikatami sodu i potasu wprowadza się do muru znaczące ilości alkaliów, które tworzą na drodze reakcji z dwutlenkiem węgla zawartym w powietrzu duże ilości węglanu potasu ewentualnie sodu. Te łatworozpuszczalne, uszkadzające materiały budowlane sole dodatkowo obciążają mur. Dlatego też, w celu ograniczenia tworzenia się soli stosowane są przeważnie ubogie w alkalia związki krzemu. Na powierzchni muru związki soli tworzą wielkopowierzchniowe wykwity, natomiast w murze po prostu wykryształizują, czego efektem może być ponowne pojawienie się higroskopijnej wilgoci. Z tego powodu zastosowanie czystych roztworów szkła wodnego jako środka iniekcijnego do wypełniania odwiertów budzi szereg wątpliwości. [21][37][54]

Alkalimetylosilikonaty

Już od końca lat 40-tych ubiegłego wieku znajdują zastosowanie w renowacji budynków wysokoalkaliczne, mieszające się z wodą w każdym stosunku, alkalimetylosilikonaty. Są to rozpuszczalne w wodzie sole kwasu alkali krzemowego, przy czym znaczenie ma tu przede wszystkim kwas metylokrzemowy. Metylosilikonat potasowy stosowany jest jako środek iniekcyjny albo bezpośrednio, albo w kombinacji z krzemianem potasowym. Taka kombinacja umożliwia uszczelnienie kapilar i hydrofobizację materiału budowlanego. Zwężenie kapilar, pojawiające się na początku na skutek tworzenia silikażelu, skutkuje redukcją zawilgocenia, co poprawia z kolei wysychanie materiału hydrofobowego. Alkalimetylosilikonaty reagują w murze podobnie jak alkalisilikaty: wiążąc dwutlenek węgla z powietrza tworzą nawilżany przez wodę polisiloksan, przy jednoczesnym strąceniu kwasu polimetylokrzemowego

(kąt zwilżania $>90^\circ$). Jako produkt uboczny tej reakcji chemicznej powstają jednakże alkaliczne węglany - sodowy i potasowy. W wyniku tego, przy zastosowaniu produktów zawierających dużą ilość alkaliów, tworzą się w murze albo bezpośrednio wokół odwiertu sole. Na skutek higroskopijności soli mur ulega dodatkowemu zawilgoceniu.

Ponieważ alkalimetylosilikonaty mogą tworzyć hydrofobowy kwas polimetylokrzemowy tylko w obecności dwutlenku węgla, toteż jasne stają się granice zastosowania tej metody i jednocześnie jej wady. Otóż te środki iniekcyjne mogą być stosowane tylko do określonego, dość niskiego stopnia zawilgocenia i tylko w murach o ograniczonej grubości. Wartościami granicznymi dla zapewnienia wystarczającego czasu reakcji i tym samym rozwinięcia się mechanizmów działania iniektu są tutaj mury o grubości ponad 0,5 m i stopniu przesiąknięcia wilgocią ponad 50%.[21][37][54]

Związki propylu

Jeśli zamiast silikatów metylowych zastosujemy związki propylu, odpadną wady wyżej omówionych alkalimetylosilikonatów, związane z ich mechanizmem reakcji. Tworzą one kwas polimetylokrzemowy także bez udziału dwutlenku węgla, a więc mogą być stosowane również w murach o wysokim stopniu przesiąknięcia wilgocią i grubych ścianach. Wadą tych produktów jest również tworzenie soli, jako produktów ubocznych reakcji chemicznej oraz stosunkowo szybkie przebieganie mechanizmu ich działania (reakcji). Substancja aktywna zaczyna ujawniać swoje hydrofobowe właściwości zależnie od alkaliczności podłoża, jednak zawsze stosunkowo szybko po wprowadzeniu do muru. Co z jednej strony może być uznane za zaletę produktu, z drugiej strony może być oceniane krytycznie: szybkie funkcjonowanie mechanizmu działania iniektu sprawia, że często nie może on rozłożyć się w murze i tym samym posiada ograniczoną penetrację. [21][37][54]

Silany

Silan jest związkiem małowcząsteczkowym, krzemowym analogiem metanu. Stanowią jednostki konstytucyjne (mery) dla siloksanów i żywic silikonowych. Od niego wywodzą się substancje stosowane do syntezy polimerów krzemoorganicznych określanych mianem silikonów. Cechą charakterystyczną tych związków jest ich specyficzna hydroliza oraz reakcje po niej następujące. W zetknięciu z wodą atomy chlorowca i grupy alkoksylowe zostają podstawione grupami wodorotlenowymi, podczas gdy podstawniki alkilowe i aryłowe pozostają

nietknięte. Zależnie od ilości atomów chlorowca lub grup alkoksylowych hydroliza prowadzi do silanoli z różną ilością grup wodorotlenowych, a od tej z kolei zależą dalsze przemiany i budowa produktu końcowego. Silany rozpuszczają się w węglowodorach i alkoholach, a nieduża wielkości ich cząsteczek sprawia, że posiadają dużą zdolność penetracji, także w materiałach budowlanych o dużej gęstości. [37][54]

Chociaż przy zastosowaniu silanów nie tworzą się żadne sole albo inne produkty uszkadzające materiały budowlane, a i ich rozprowadzanie (penetracja) w silnie zawilgoconych materiałach budowlanych jest dobre, to jednak posiadają wadę: muszą zostać rozpuszczone w rozpuszczalnikach organicznych. Zastosowanie tych produktów powoduje nie tylko ekstremalne obciążenie zapachowe, ale w razie braku możliwości wietrzenia może pojawić się także zagrożenie wybuchem. Ze względów ekologicznych i zapachu udział silanów w rynku obniżył się w ciągu ostatnich lat do minimalnego poziomu. [21][37]

Siloksany

Siloksany są to związki krzemowe zawierające ugrupowanie Si-O-Si. Silikony i silany wykorzystywane do hydrofobizacji obiektów budowlanych można podzielić na trzy grupy:

- monomeryczne alkiloalkoksylsilany
- oligomeryczne alkiloalkoksylsiloksany
- polimeryczne siloksany (żywice metylosilikonowe)

Wszystkie te związki mają zdolność tworzenia trwałych sieci przestrzennych. Dzięki podobieństwu chemicznemu, po zetknięciu z powierzchnią mineralną substancja hydrofobizująca tworzy trwałe i wytrzymałe wiązania z grupami silanolowymi obecnymi w hydrofilowych materiałach budowlanych. Jednocześnie grupy alkilowe orientują się na zewnątrz powierzchni i tworzą hydrofobową warstwę chroniącą przed przenikaniem do wnętrza materiału budowlanego wilgoci.

Środki iniekcyjne na siloksanach, które są rozpuszczalne w organicznych rozpuszczalnikach (jak benzyna lądowa albo alkohole), posiadają wyłącznie hydrofobowe właściwości: (kąt zwilżania $>90^\circ$). A to oznacza, że wprowadzenie tego rodzaju substancji nadaje ściankom kapilar hydrofobowość, a napięcie powierzchniowe wody ulega podwyższeniu. W ten sposób zostaje przerwana kapilarność materiału budowlanego.

W zależności od budowy chemicznej siloksany w zetknięciu z materiałami budowlanymi zachowują się w różny sposób. Polisiloksany tworzą warstwę na powierzchni pokrywanego materiału, co może powodować zmiany wyglądu (powierzchnia ciemnieje i sprawia wrażenie mokrej). Natomiast silany o małym ciężarze cząsteczkowym oraz oligomeryczne siloksany mają zdolność wnikania w głąb porowatej struktury materiału budowlanego, dzięki czemu zmniejszają absorpcję kapilarną wody. Dlatego też zabezpieczenie niskocząsteczkowymi silanami i oligomerycznymi siloksanami praktycznie nie wpływa na wygląd powierzchni materiału budowlanego. [37][54]

Preparaty na bazie siloksanów posiadają identyczne wady jak silany. Z tego też powodu ich stosowanie w ostatnich latach ma znaczenie marginalne.

Mikroemulsje silikonowe

Mikroemulsje różnią się od emulsji zarówno na poziomie makro jak i na poziomie mikro. Różnica polega głównie na tym, że emulsje są mlecznobiałe, natomiast mikroemulsje są przezroczyste i mają jedynie nieznaczną, charakterystyczną opalescencję. Wynika to stąd, że na stosunkowo dużych cząstkach występujących w emulsjach (10^{-8} - 10^{-9} m) zachodzi silne rozpraszanie światła. Wielkość promienia cząsteczek w mikroemulsjach wynosi ok. 10^{-9} do 10^{-10} m. Są one więc o rząd wielkości mniejsze niż cząsteczki pozostałych emulsji, są więc szczególnie drobnocząsteczkowe i jako środek iniekcyjny najbardziej odpowiednie.

W porównaniu do innych środków iniekcyjnych mikroemulsje silikonowe stanowią novum w tym obszarze produktów. Stosowane są od początku lat 90-tych, przełom nastąpił jednak dopiero pod koniec lat 90, wraz z publikacją nowej instrukcji WTA i ogólnej dyskusji dotyczącej wysokojakościowych systemów iniekcyjnych. Z powodu możliwości ich różnorodnego zastosowania, jak również szeregu zasadniczych zalet materiałowych w porównaniu do klasycznych materiałów iniekcyjnych, używa się dzisiaj często terminu technologii SMK, dla oznaczenia bezwodnych i niezawierających rozpuszczalników koncentratów mikroemulsji silikonowych. SMK posiadają niską lepkość, są przejrzystymi, bezwodnymi i wolnymi od rozpuszczalników płynami, które po wlaniu do wody tworzą drobnocząsteczkowe i stabilne mikroemulsje silikonowe.

W wyniku fizycznego wysychania ulegają one kondensacji (przy wydzieleniu alkoholu) tworząc nieulegający ponownej reemulgacji polisiloksan. Jego chemiczna struktura sprawia, że

z jednej strony wiąże się on z podłożem, z drugiej zaś wykazuje właściwości hydrofobowe, nie wpływając na właściwości dyfuzyjne materiału budowlanego. Zasadowość przyspiesza sieciowanie. Ponadto uważa się, że mikroemulsje silikonowe, będące wodnymi środkami iniekcyjnymi, mogą mieszać się z wodą kapilarną materiału budowlanego, tak że nawet przy wysokim stopniu zawilgocenia możliwa jest duża głębokość wnikania i dobre rozprowadzenie materiału. [37][54]

4.3. TECHNOLOGIE WYKONYWANIA IZOLACJI METODAMI INIEKCJI

Obecnie na polskim rynku spotkamy wiele technologii i materiałów stosowanych do wykonywania izolacji metodami iniekcyjnymi. Środki te produkowane są przez szereg firmy z branży chemii budowlanej. Do najbardziej popularnych w Polsce należą: Schomburg, Ceresit Henkel, Webac, Deiterman, Remmers, Isolit, MC-Bauchemie, Sto, itp. W zależności od firmy, która produkuje dany środek, jaki i samego środka uzależniona jest technologia wykonania izolacji. Przyjęło się nazwę metody wywodzić od nazwy firmy produkującej dany materiał. Ze względu na fakt, że podane wyżej firmy (technologie) dominują na rynku do dalszej oceny przyjęto technologie firm wiodących na rynku.

W ramach prowadzonych badań literaturowych stwierdzono bardzo duże rozbieżności w jakości przygotowania i szczegółowości dokumentacji technicznych poszczególnych technologii. Dość podobnie wygląda sytuacja z kartami technicznymi samych preparatów. Z tego powodu przed rozpoczęciem prac badawczych została opracowana własna, w postaci kart, dokumentacja dotycząca stosowanych preparatów. Karty opracowane zostały na podstawie informacji znajdujących się: w instrukcjach i kartach technicznych, kartach charakterystyki, materiałach firmowych oraz na podstawie korespondencji z firmami. W załączniku znajdującym się na końcu pracy zamieszczono kilkanaście z opracowanych około 30 własnych kart.

W celu dokładniejszej analizy poniżej dokonano zestawienia tabelarycznego metod. Ze względu na obszar zagadnienia w pracy przedstawione zostały technologie najbardziej popularne i uważanych za najskuteczniejsze. Na podstawie opracowanych danych oraz badań własnych wyciągnięte zostały wnioski dotyczące rozstawu i średnicy otworów, stosowanych ciśnień i ograniczeń związanych z wykonywaniem iniekcji.

Tab. 4.2 Porównanie metod do wykonywania izolacji wtórnych metodami iniekcji cz I.

Firma produkująca preparat	Rodzaj środka iniekccyjnego	Rodzaj iniekcji		Średnica otworów [mm]	Rozstaw otworów [cm]	Kąt nachylenia otworów		Głębokość otworów	Zużycie	Uwagi
		Sposób iniekcji	Ciśnienie robocze							
Schomburg	AquaFin - F	grawitacyjna	-	30	max co 15	30 – 45 °		Grubość muru minus 5 cm	15 kg/m ² przekroju poziomego muru	
		ciśnieniowa	1,0 MPa	18	10 – 12,5	30 °				
	AquaFin - SMK	grawitacyjna	-	30	max co 15	30 – 45 °		Grubość muru minus 5 cm	1,5-2,0 l/m ² przekroju poziomego muru	Przygotowany roztwór należy wykorzystać w ciągu jednego dnia
		ciśnieniowa	1,0 MPa	18	10 – 12,5	30 °				
Ceresit Henkel	Ceresit CO 81	grawitacyjna	-	30	12	30 – 45 °		Grubość muru minus 5 cm	-----	
		ciśnieniowa	0,2 – 0,7 MPa	12 - 18	8 - 12	0 - 30 °				
Deiterman	Adexin HS	grawitacyjna	-	30	10 - 12 max 15	25 – 45 °		Grubość muru minus 5 cm	6-10 l/m muru grubości 30cm	Stosowany w murach o wilgotności od 50% do 70%
		nisko-ciśnieniowa	1,0 MPa	12	10 - 12 max 15	poziomo				
	Adexin HS 2	grawitacyjna	-	30	10 - 12 max 15	25 – 45 °		Grubość muru minus 5 cm	8-20 l/m muru grubości 40 cm	Stosowany przy dużym zawilgoceniu, po wyżej 70 %
		nisko-ciśnieniowa	1,0 MPa	12	10 - 12	poziomo				
Remmers	Aida Kiesol	grawitacyjna	-	30	10 - 12	25 – 45 °		Grubość muru minus 5 cm	4,0 kg/m ściany grubości 24cm	Suche otwory należy przed iniekcją zwilżyć wodą
		nisko-ciśnieniowa	0,4 – 0,8 MPa	18	12	poziomo				

Tab. 4.3 Porównanie metod do wykonywania izolacji wtórnych metodami iniekcji cz II.

Firma produkująca preparat	Rodzaj środka iniekcyjnego	Rodzaj iniekcji		Średnica otworów [mm]	Rozstaw otworów [cm]	Kąt nachylenia otworów	Głębokość otworów	Zużycie	Uwagi
ISOLIT	ISOLIT-Kieselsaure	Sposób iniekcji	Ciśnienie robocze	20 – 25	7 szt. na 1 mb ściany	20 °	80 % grubości muru	2,5 kg/mb muru grubości 30 cm	
		ciśnieniowa	-						
MC-Bauchemie	Oxal HSP	grawitacyjna	-	min 20	10	30 – 45 °	5-10 cm mniej niż grubość muru	1,6 – 3,2 kg/m ściany grubości 10 cm	Suchy otwór należy wypełnić mlekiem wapiennym
		nisko-ciśnieniowa	max 1,0 Mpa	18	10 – 12				
	Oxal HSP-ME	grawitacyjna	-	min 20	10	30 – 45 °	5-10 cm mniej niż grubość muru	2,0 – 4,0 l/m ściany grubości 10 cm	Suche otwory należy zmoczyć wodą wapienną
		nisko-ciśnieniowa	max 1,0 Mpa	18	10 – 12				
STO	StoMurisol Micro	grawitacyjna	-	18 – 20	10 – 12	10 – 15 °	Grubość muru minus 5 cm	-	Otwory należy wypełnić mlekiem wapiennym
IZOMUR	Izomur	grawitacyjna	-	18 – 23	25	< 15 °	$\frac{3}{4}$ grubości muru	-	Wilgotność wgłębna otworu powinna być mniejsza od 10 %
Metoda iniekcji krystalicznej		grawitacyjna	-	20	-15	15 – 30 °	Grubość muru minus 15 cm	-	Nawiercone otwory należy zwilżyć

4.3.1. Analiza metod iniekcyjnych ze względu na stosowane ciśnienie.

Podczas prac związanych z wykonywaniem poziomej przepony znaczącym parametrem jest zastosowane ciśnienie robocze, gdyż preparat może być aplikowany grawitacyjnie lub pod niskim czy wysokim ciśnieniem. W ocenie wzięto pod uwagę informacje zawarte: w kartach technicznych, kartach charakterystyki, literaturze oraz dane uzyskane podczas badań własnych. Na tej podstawie stwierdzono że:

- Grawitacyjne wykonywanie iniekcji nie gwarantuje w pełni całkowitego i dokładnego wypełnienia porów i kapilar, co może prowadzić do nie uzyskania zakładanego promienia penetracji,
- Czas wykonywania iniekcji w metodzie grawitacyjnej jest znacznie dłuższy niż w przypadku metod ciśnieniowych.
- W większości metod ciśnieniowych stosowany jest bardzo zbliżony zakres ciśnień roboczych.
- Metody ciśnieniowe wymagają stosowania specjalnych pomp, kompresorów oraz tzw. osprzętu dodatkowego.
- Metody ciśnieniowe wymagają stałej kontroli podczas prowadzenia prac związanych z tłoczeniem preparatów. Podawanie preparatu powinno odbywać się przy jednakowym ciśnieniu we wszystkich węzłach,
- Metody ciśnieniowe stosowane mogą być w murach mokrych, gdyż powoduje ona wypieranie wody z porów i zastępowanie jej wprowadzanym środkiem.
- Zużycie preparatu w metodzie ciśnieniowej jest znacznie większe niż w metodzie grawitacyjnej.
- Przekraczanie ciśnienia skutkuje uszkodzeniem materiałów o niejednorodnej budowie i niskiej wytrzymałości.

4.3.2. Analiza metod ze względu na średnicę i rozstaw otworów.

W większości metod dana technologia narzuca stosowanie określonych średnic, rozstawów i kątów nachylenia otworów. W wielu przypadkach jest to nie do końca uzasadnione, co potwierdziły badania własne autora. Na podstawie zebranych danych zawartych w materiałach firmowych oraz literaturze, stwierdza się co następuje:

- Średnica otworów mieści się w przedziale od 12 do 30mm, a większe średnice przewiduje się dla metod grawitacyjnych.
- W przypadku części metod w sposób automatyczny przeniesiono średnice z iniekcji grawitacyjnych na ciśnieniowe. Jest to nie do końca zrozumiałe, gdyż duże średnice otworów powodują zwiększenie kosztów wiercenia i wydłużają jego czas.
- Część technologii iniekcji ciśnieniowych dopuszcza zmianę średnicy odwiertów na większe lub mniejsze.
- Rozmieszczenie i rozstaw otworów iniekcyjnych powinny być uzależnione przede wszystkim od iniektowanego materiału oraz warunków wilgotnościowych przegrody stanu i rodzaju muru,
- Technologie części firm dopuszczają, dla metody niskociśnieniowej, wykonywanie otworów poziomo. Ułatwia to wykonanie odwiertów oraz obniża koszt iniekcji (mniejsza długość otworów).
- Warunkiem szczelności przepony jest równoległość w pionie i poziomie wykonanych otworów.
- Blisko rozstawione otwory o większych średnicach mogą powodować osłabienie przegrody.

4.4. URZĄDZENIA DO WYKONYWANIA INIEKCJI

Współczesne technologie i materiały do wykonywania przepon metodą iniekcji wymagają równie nowoczesnego i technologicznie zaawansowanego sprzętu. Przejście z technologii grawitacyjnych na ciśnieniowe wymusiło wprowadzenie szeregu urządzeń i elementów osprzętu niestosowanego wcześniej w budownictwie. Stosowane początkowo przerabiane pompy do innych zastosowań oraz ręczne pompy tłoczące zastępuje się profesjonalnymi urządzeniami. Różnorodność tłoczonych materiałów oraz stosownie preparatów wieloskładnikowych wymusza projektowanie i produkcję urządzeń specjalistycznych, dedykowanych danej technologii czy preparatowi.

W skład zestawu do wykonywania iniekcji wchodzi: urządzenia wierzące, sprężarki, pompy, oraz osprzęt dodatkowy (przewody ciśnieniowe, pistolety, iniektory, lance iniekcyjne itp.). W punkcie niniejszym większy nacisk położono na urządzenia do tłoczenia preparatów – pompy, iniektory oraz tzw. osprzęt dodatkowy. W ramach prowadzonej pracy wybrane zostały istotne parametry pomp, a na ich podstawie wysnuto wnioski dotyczące zasad doboru sprzętu

tłoczącego. Mniejszy nacisk zostanie położony na kompresory oraz sprzęt wierzący. Urządzenia wykorzystywane do prac iniekcyjnych nie odbiegają od stosowanych powszechnie w innych pracach budowlanych.

4.4.1. Pompy

Pompa jest to urządzenie do transportowania cieczy z jednego poziomu na drugi. Typowa pompa napędzana jest energią mechaniczną. Energia przekazywana jest cieczy za pomocą organu roboczego, którym może być wirnik, tłok lub membrana. Działanie pompy polega na wytwarzaniu różnicy ciśnień pomiędzy stroną ssawną (wlotem) i tłoczną (wylotem).

Aktualnie wszystkie przenośniki cieczy niemające tłoka, membrany, łopatek, lub wirnika nie zalicza się do pomp, mimo posiadania w nazwie słowa pompa. Jako przykłady dawnych pomp podawane są przenośniki cieczy, stanowiące nierozłączny element z silnikiem, np. parowy podnośnik wody i jego odpowiednik spalinowy, w których czynnik roboczy np. para wodna bezpośrednio przekazuje energię cieczy. Ponieważ parowe i spalinowe podnośniki wody mają jedynie znaczenie historyczne, przeważnie nie umieszcza się ich w klasyfikacji, albo nie zalicza do pomp. Podobnie jest ze śrubą Archimedesesa.[208]

W każdym przypadku, by pompa mogła pracować, musi być zalana, co oznacza, że przestrzeń robocza pompy oraz rurociąg ssawny musi być wypełniony cieczą i odpowietrzony w momencie rozruchu pompy. Wyjątkiem od tego są pompy samozasysające. Także niektóre pompy wyporowe, charakteryzujące się wysoką szczelnością oraz umieszczone w układzie pompowym o niewielkiej wysokości ssania są w stanie rozpocząć pracę bez wcześniejszego zalania rurociągu ssawnego. [208]

Charakterystykami pomp są:

- wydajność – mierzona w objętości przepompowywanej cieczy na jednostkę czasu, w układzie SI wyrażona w litrach na sekundę [l/s],
- wysokość podnoszenia (lub maksymalne ciśnienie) mierzone w metrach słupa wody lub w układzie SI w paskalach [Pa].
- moc - określa pracę wykonaną w jednostce czasu, w układzie SI wyrażona w watach [W]

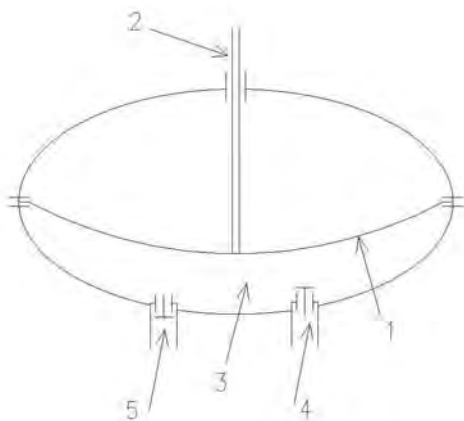
Pompy dzielą się na: pompy wirowe (przepływowa) oraz pompy wyporowe. Pompy wyporowe, ze względu na swoją konstrukcję dzielą się na:

- pompy o ruchu postępowo-zwrotnym organu roboczego: pompa tłokowa (ruch tłoka lub nurnika w cylindrze), pompa wielotłoczkowa, pompa membranowa (ruch elastycznej ścianki (membrany) komory),
- pompy o ruchu obrotowym organu roboczego: pompa zębata, pompa śrubowa, pompa łopatkowa, pompa krzywkowa,
- pompy o ruchu wahadłowym organu roboczego: pompa skrzydełkowa, pompy o specjalnej konstrukcji, pompa przewodowa, pompa puszkowa

W dalszej części pracy szczegółowo omówione zostaną pompy tłokowe, membranowe i śrubowe, gdyż takie typy pomp są najczęściej stosowane w iniekcji.

Pompy membranowe

Pompa membranowa jest pompą wyporową, w której organem roboczym jest gumowa, plastikowa lub (dawniej) skórzana membrana poruszana za pomocą dźwigni, cyklicznie wtłaczanego sprężonego powietrza lub cieczy.



Rys. 4.3 Schemat pompy membranowej.



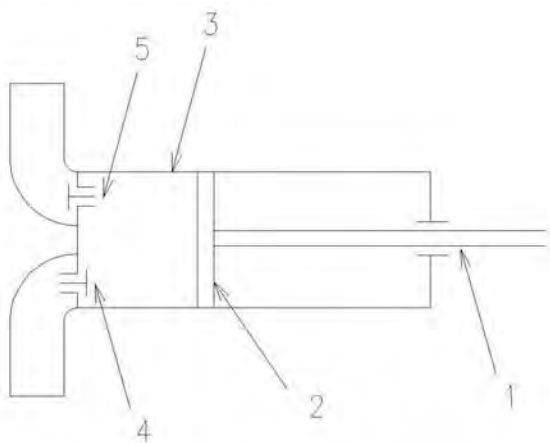
Rys. 4.4 Pompa membranowa stosowana w iniekcji. [236]

Przykładową konstrukcję pompy membranowej przedstawiono na wyżej zamieszczonym rysunku. Membrana (1) napędzana cięgłem (2) na przemian powiększa lub pomniejsza objętość komory roboczej (3). Samoczynnie zamykające lub otwierające się zawory: ssawny (4) i tłoczny (5) - pozwalają przepompowywać ciecz z rurociągu ssawnego do tłocznego.[209]

Przy wykonywaniu iniekcji w murach pompy membranowe posiadają szerokie zastosowanie. Można przy ich pomocy zarówno podawać zaczyny cementowe jak i roztwory wodne o dowolnym składzie.

Pompy tłokowe

Pompa tłokowa jest rodzajem pompy wyporowej. Pompy tłokowe przed wynalezieniem pomp wirowych używane były w miejskich systemach zasilających w wodę pitną. Wielkość pomp tłokowych leży w zakresie od olbrzymich jednostek do niewielkich pomp ogrodowych popularnie zwanych "abisynkami".[210]



Rys. 4.5 Schemat pompy membranowej



Rys. 4.6 Pompa tłokowa stosowana w iniekcji. [236]

Zasada działania pompy tłokowej jest następująca. Silnik napędowy za pośrednictwem mechanizmu korbowodowego napędza tłoczysko (1) sztywno połączone z tłokiem (2), który przesuwa się wewnątrz korpusu zwanego cylindrem (3). Tłoczysko może być także napędzane siłą ludzkich mięśni lub przez zwierzęta pociągowe za pośrednictwem kieratu. W korpusie pompy wbudowane są dwa zawory, ssawny i tłoczny, samoczynnie otwierające i zamykające odpływ do rurociągów ssawnych (4) i tłocznych (5) pompy. Tłoczysko przesuując się do zewnętrznego położenia powiększa przestrzeń ssawną pompy. W tym czasie samoczynnie otwiera się zawór ssawny (4), a zasysana ciecz wypełnia komorę roboczą pompy. W czasie ruchu powrotnego tłoka zawór ssawny jest zamknięty i jednocześnie otwiera się zawór tłoczny. Ciecz zostaje wypchnięta do rurociągu tłoczego. Gdy tłok osiągnie skrajne wewnętrzne położenie i cała ciecz zostaje wypchnięta z cylindra, cykl się powtarza. Wysokość tłoczenia pompy wyporowej jest ograniczona tylko nastawą zaworu przelewowego. [210]

Pompy ślimakowe

Pompa ślimakowa (śrubowa) to rodzaj pompy wyporowej, w której transport cieczy wymuszany jest obrotami ślimakowej śruby (rotora). Ciecz zamknięta w przestrzeniach pomiędzy ślimakiem (rotorem) a korpusem (statorem) pompy zostaje przenoszona od strony ssawnej do tłocznej pompy. Pompa ślimakowa nie posiada zaworów.[212]



Rys. 4.7 Zasada działania pompy śrubowej[212]



Rys. 4.8 Pompa śrubowa stosowana w iniekcji[236]

Główne cechy pomp śrubowych to: równomierny, bezpulsacyjny przepływ cieczy, wysoka zdolność samozasysania, delikatny transport medium, prosta konstrukcja, przepływ wprost proporcjonalny do prędkości obrotowej silnika, konstrukcja bezzaworowa, możliwość zmiany kierunku przepływu, wysoka wydajność tłoczenia. [212]

W pracach iniekcyjnych pompy ślimakowe stosuje się przede wszystkim do podawania zaczynów cementowych i mas uszczelniających

4.4.2. Iniektory

Iniektory (pakery) są to cylindryczne zawory zwrotne umożliwiające ciśnieniowe tłoczenie materiału iniekcyjnego np. przy uszczelnianiu budowli lub naprawach pęknięć. Połączenie z pompą iniekcyjną następuje przez kalamitkę stożkową lub płaską znajdującą się na głowce iniektora. Zależnie od sposobu mocowania z elementem budowli rozróżnia się dwa podstawowe typy iniektorów: iniektory pod odwierty, iniektory przyklejane. [122][236] [237]

Dobór iniektorów powinien być uzależniony od typu iniekcji, rodzaju podawanego preparatu i charakterystyki materiału który będzie iniektowany. Na podstawie doświadczeń

autora, największe znaczenie ma materiał, a szczególnie jego wytrzymałość przy powierzchni. Przykładowo w materiałach o niewielkiej wytrzymałości (zaprawa, słaba cegła, skorodowany kamień, gazobeton) dość trudno jest zamontować iniektory wkręcane. Nacisk gumy rozporowej podczas wkręcania niszczy materiał powodując zwiększenie średnicy otworu.

Iniektory pod odwierty

Iniektory pod odwierty mają formę cylindryczną, montowane są do wcześniej przygotowanych odwiertów. W zależności od rodzaju mocowania rozróżnia się: iniektory śrubowe i iniektory wbijane.

Iniektory śrubowe to iniektory wkręcane, które poprzez wkręcenie do odwiertu zostają w nim zakotwione. Podczas napinania (dokręcania) iniektora gumowy kołnierz (część) zostaje dociśnięty do ścianki odwiertu. Dzięki temu iniektor pozostaje stabilny w otworze nawet przy dużych ciśnieniach. Ponadto guma iniektorów kompensuje nieznaczne odchylenia średnicy odwiertu i jego formy, tak że również przy lekko "nieokrągłych" odwiertach materiał nie wydostanie się z otworu. Długość iniektorów dobiera się tak, aby na iniektor można było swobodnie nasadzić głowicę chwytaka lub łącznik suwakowy a następnie łatwo zdjąć. Jeżeli fragment budowli jest stary lub niskiej jakości, należy iniektor umieścić głębiej w odwiercie, aby w czasie napinania iniektora uniknąć wykruszania się muru w obszarze odwiertu. [236] [237]

Iniektory śrubowe możemy podzielić na dwa typy:

- Typ S (śruba sześciokątna), przeznaczone do normalnych prac iniekcyjnych,
- Typ R (śruba okrągła), można stosować zamiennie, ponieważ przy konieczności podawania większej ilości medium mogą być wyposażone w kalamitki z główką płaską.[44]



Rys. 4.9 Iniektory wkręcane [236]

Iniektory wbijane

Iniektory wbijane są łatwe w obsłudze, ponieważ mocuje się je wbijając młotkiem w odwiert. Dobrze umocowanie w odwiercie umożliwia stożkowaty kształt iniektora lub znajdujące się wkoło niego twardo-elastyczne wypustki. Średnica i kształt odwiertu muszą odpowiadać wymiarom iniektorów. Iniektory te stanowią alternatywę dla iniektorów śrubowych, jeśli budowla jest odpowiednio stabilna, aby móc skompensować uderzenia przy wbijaniu. Iniektorów wbijanych nie należy stosować w porowatym murze lub betonie. [122][236] [237]



Rys. 4.10 Iniektory wbijane [236]

Iniektory przyklejane

Iniektory przyklejane to króćce przyklejane bezpośrednio na rysę w powierzchni budowli. Na stopce iniektora znajduje się płytka, umożliwiającą właściwą przyczepność. Dla zapewnienia drożności kanału iniektora podczas jego przyklejania na pęknięciu ściany, należy przed przyklejeniem wbić w szczelinę stalowy gwóźdź, przez który przejdzie iniektor. Po utwardzeniu kleju gwóźdź należy usunąć.

Iniektory przyklejane stosuje się wówczas, gdy wymagana jest bezinwazyjna iniekcja i w związku z tym nie można dokonywać odwiertów. Z reguły iniektory przyklejane stosuje się przy iniekcji żywic epoksydowych przenoszących naprężenia. [122][236] [237]



Rys. 4.11 Iniektory przyklejane[236]

4.4.3. Kompresory

Kompresorem (sprężarką) nazywamy maszynę energetyczną, której zadaniem jest podwyższenie ciśnienia gazu lub wymuszenie jego przepływu (nadanie energii kinetycznej).

Sprężarki są szeroko stosowane zarówno w przemyśle (napęd różnego rodzaju narzędzi - kluczy pneumatycznych, szlifierek, wiertarek, młotów, piaskowanie, malowanie natryskowe, dystrybucja gazów technicznych, pompowanie opon samochodowych, przetłaczanie gazu ziemnego, podnoszenie ciśnienia w układach turbin gazowych, turbodoładowanie silnika spalinowego), transport materiałów sypkich, jak i w gospodarstwie domowym.

Kompresory stosowane do pomp iniekcyjnych powinny być wyposażone w urządzenia obniżające wilgotność powietrza takie jak skraplacze pary wodnej oraz naolejające. Celem jest niedopuszczenie do możliwości wykraplania się pary wodnej wewnątrz pomp. Niestety w większości przypadków oferowane kompresory nie posiadają tych podzespołów. Niezwykle istotnym jest właściwe dobranie zakresu ciśnienia roboczego sprężarki (kompresora) do wymagań pompy tłoczącej. Ciśnienia stosowane przy iniekcjach są na tyle niskie, że w większości przypadków wystarczające są kompresory o małych rozmiarach zbiornika.

4.4.4. Wiertnice, wiertarki

Jedną z pierwszych czynności podczas prac iniekcyjnych jest wykonanie otworu pod iniektory. Szczególnie ważne jest wykonanie otworu o odpowiedniej średnicy, głębokości i jeżeli zachodzi potrzeba wykonanie go pod odpowiednim kontem w stosunku do iniektowanego elementu. Dlatego należy używać do tego profesjonalnego sprzętu.

4.4.5. Osprzęt dodatkowy

W przypadku zestawów do wykonywania iniekcji pod pojęciem osprzęt dodatkowy należy rozumieć: przewody doprowadzające preparat, kalamitki, pistolety do wydmuchiwania zwierzyny i prowadzenia iniekcji, manometry, oraz wszelkiego rodzaju nasadki i pobijaki do montażu iniektorów. Właściwy dobór tych urządzeń, ich niezawodność może skrócić czas prowadzonych prac oraz zwiększyć efektywność i skuteczność wykonanej przepony.

Kalamitki

Kalamitka to jednokierunkowy zaworek umieszczony na iniektorze, przez który włacza się materiał iniektowany. W iniekcji stosuje się dwa rodzaje kalamitek, z główką: spiczastą do iniekcji pod niskim ciśnieniem, płaską do iniekcji pod wysokim ciśnieniem.

W przypadku iniektorów wielokrotnego użytku kalamitka jest elementem, który wymaga, ze względu na zużycie, stosunkowo częstej wymiany. Do uszkodzeń kalamitki dochodzi najczęściej przy wielokrotnym zapinaniu i odpinaniu przewodów zasilających. Drugim z powodów jest wiązanie preparatu w zaworze na skutek braku konserwacji po zakończeniu prac. Wymiana ta jest prosta i polega na wykręceniu zużytej i wkręceniu nowej. Każdorazowo należy sprawdzić działanie wymienianego zaworu.

Pistolety do wydmuchiwania zwierziny i prowadzenia iniekcji

Technologia wykonywania iniekcji zakłada przedmuchiwanie wywierconych otworów przed rozpoczęciem tłoczenia preparatów. W przypadku nie wykonania tej czynności, dochodzi do mieszania się pozostawionej zwierziny z preparatem i doszczelnianie otworu. Powoduje to utrudnienia w tłoczeniu i skutkuje zmniejszeniem promienia penetracji. Pistolety do wydmuchiwania zwierziny posiadają wymienne sztywne przewody, których długość uzależniona jest od głębokości odwiertu.

Stosowanie pistoletów iniekcyjnych ułatwia kontrolę nad przepływem preparatu i jest szczególnie istotne w końcowej fazie wykonywania iniekcji. Pistolety iniekcyjne posiadają zawór umożliwiający zatrzymanie przepływu preparatu i sprawne przepinanie pomiędzy kolejnymi iniektorami podczas dopompowywania.

Przewody zasilające i końcówki

Przewody zasilające służą do transportowania iniektu z pompy do pakera. Są wykonywane z gumy lub tworzyw sztucznych. Ich średnica i wytrzymałość powinna być dostosowana do ciśnień, w jakich będą działać i do materiału, który będą transportować.



Rys. 4.12 Kalamitki z główką: a) spiczastą b) płaską[236]



Rys. 4.13 Pistolety do wydmuchiwania zwierciny[236]



Rys. 4.14 Pistolety iniekcyjne[236]



Rys. 4.15 Przewód zasilający[236]



Rys. 4.16 Nasadka na kalamitki płaskie[236]



Rys. 4.17 Nasadka na kalamitki spiczaste[236]

4.4.6. Ocena sprzętu do iniekcji

Z uwagi na ogrom produkowanego sprzętu do iniekcji, o znacznie różniących się od siebie konstrukcjach i rodzaju użytego materiału bardzo ważna jest odpowiednia jego klasyfikacja. Niezmiernie istotne jest określenie czy i w jakim stopniu wpływa to na wykonane zabezpieczenia przeciwwilgociowe.

Z grupy sprzętu iniekcyjnego dokładnej analizie poddano pompy. Jest to urządzenie, które warunkuje dobór pozostałych elementów systemu zasilania i podawania preparatu. Do oceny wybrano dwadzieścia jeden pomp o czterech różnych konstrukcjach ze względu na zróżnicowanie parametrów oraz szerokie zastosowanie. Analizie poddano parametry takie jak zasilanie, wydajność, ciśnienie robocze, masa, zastosowanie okres gwarancji, wielozadaniowość

oraz nadwozie. W ocenie sprzętu nie uwzględniono sprzętu wierzącego, kompresorów i osprzętu dodatkowego z powodu na dużego wyboru oraz dlatego że dobór tych elementów jest uzależniony od zastosowanej pompy i rodzaju prac iniekcyjnych.

Po analizie dostępnej dokumentacji wybrano pięć najważniejszych cech charakterystycznych, które powinny być uwzględnione przy wyborze pompy:

- Zastosowanie. Pompa powinna być dobierana do określonego preparatu, lub grupy preparatów, które ma tłoczyć.
- Zasilanie. Ten parametr znacznie wpływa na wydajność pompy. Pompy napędzane elektrycznie charakteryzują się mniejszą wydajnością, posiadają mniejsze gabaryty a co za tym idzie łatwość w transporcie. Pompy zasilane przez kompresor osiągają duże wydajności, ale transport odpowiedniego kompresora, który dość często posiada duże gabaryty sprawia problemy w transporcie. Dodatkowo trzeba uwzględnić poza kosztami utrzymania pompy koszty utrzymania kompresora. Pompy tzw. ręczne posiadają niewielkie rozmiary i wydajności. Wymagają dużych nakładów pracy ludzkiej przy stosunkowo niewielkich efektach, jednak mogą być rozwiązaniem dla niewielkich frontów robót, które wymagają większej kontroli nad pracą takiej pompy.
- Wydajność. W praktyce przy iniekcji w mur preparatów hydrofobowych wystarcza wydajność pompy do 2 l/min z tego powodu, że mur nie jest w stanie przyjąć większych ilości preparatu. Stosowanie pomp o wydajności powyżej 2 l/min ma sens przy iniekcji zawieszin cementowych i żywic.
- Ciśnienie robocze. Większość prac związanych z hydrofobizacją jest prowadzona przy ciśnieniach do 15 bar. Większe ciśnienia stosuje się do wypełniania pustek i w murach o dużej wytrzymałości. Jednak w praktyce nie przekracza się wartości 30 bar. Mimo to większość analizowanych pomp może pracować przy znacznie większych ciśnieniach. Należy tu wspomnieć, że oprócz zakresu stosowanych ciśnień trzeba zwrócić uwagę na płynność podawania ciśnienia.
- Gabaryty i masa. Mają szczególnie znaczenie przy transporcie pompy nie tylko między budowlami, ale i też na terenie placu budowy. Zdecydowanym plusem jest posiadanie przez pompy nadwozia, na kółkach, dzięki czemu można łatwo się przemieszczać. Większość z przedstawionych pomp posiada masy nie większe niż 25 kg, co nie powinno stwarzać problemu w przenoszeniu nawet jednej osobie.

Na podstawie analizy istotnych parametrów pracy pomp (zamieszczonych w tabeli poniżej), literatury oraz własnych obserwacji i doświadczeń stwierdza się, że:

- Nie można określić uniwersalnych parametrów pomp, ponieważ prace iniekcyjne są wykonane w różnych warunkach.
- Parametry pomp są zróżnicowane, co umożliwia ich dobranie w zależności od warunków.
- Przeprowadzona analiza wykazała, że parametrami o istotnym znaczeniu są: zastosowanie, wydajność, zasilanie, zakres stosowanych ciśnień, gabaryty i masa.
- Większość pomp pneumatycznych wymaga stosowania kompresorów wyposażonych w skraplacze pary wodnej oraz w naolejaczę powietrza, niestety oferowane kompresory w większości przypadków nie posiadają tych podzespołów.
- Opisy techniczne poszczególnych pomp są nieprecyzyjne. Charakterystyki kart technicznych powinny być ujednolicone. Karty techniczne powinny zawierać przede wszystkim takie informacje jak: zastosowanie, wydajność, zasilanie, zakres stosowanych ciśnień, gabaryty i masa.
- Stwierdzono niewystarczające wyposażenie pomp w podzespoły kontrolujące ciśnienie.
- Cena pompy nie powinna być kryterium wyboru.

Tab. 4.4 Zestawienie służące do oceny pomp

Lp.	Typ pompy	Nazwa	Zastosowanie						Zasilanie	Wydajność [l/min]	Maksymalne ciśnienie robocze [Bar]	Masa [kg]	Gwarancja [miesiące]	Wielozadaniowość	Nadwozie
			Żywie	Żele	Emulsje silikonowe	Suspensje cementowe	Roztwory wodne	Środki hydrofobizujące							
1	Pompy membranowe	IP 3	+			+		+	240 V	5,5	250	54	12	nie	tak
2		D 101					+	+	kompresor	10	7	7		tak	nie
3		D 15					+	+	230 V	3	15	15		tak	nie
4		UNIPRESS D1			+	+	+	+	kompresor	24	7	13		tak	nie
5		UNIPRESS D2			+	+	+	+	kompresor	24	128	21		tak	tak
6		UNIPRESS D3			+	+	+	+	kompresor	24	288	23		tak	tak
7		UNIPRESS D4		+					kompresor	8	128	28		nie	tak
8		INIEKT 4500	+						230 V	4,5	250	23		nie	nie
9	Pompy tłokowe	IP 2K-F1	+	+		+			kompresor	14	200	47	12	tak	tak
10		D18 Easy	+					+	230V	1,8	207	10		nie	nie
11		D6A	+					+	kompresor	2,5	288	10		nie	nie
12		PP02				+			kompresor	0,5	400	-		nie	nie
13	Pompy ślimakowe	HEP 1001	+			+		+	wiertarka / kompresor	0,5	400	4	12	nie	nie
14		CMP 2005	+						wiertarka	0,9	400	-		nie	nie
15		SP MICRO			+	+			230V	0,6	15	-		tak	nie
16		SP MINI			+	+			230V	13	50	-		tak	nie
17	Pompy ręczne	SP2				+			230V	4,7	12	19		nie	nie
18		HP 100	+					+	ręczne	0,7	100	11	12	nie	-
19		HPD 100							ręczne	0,1	200	-		nie	-
20		PED - 3D	+		+		+		nożne	0,7	200	12		nie	-
21		MZP - 30			+	+	+		ręczne	0,3	25	7		nie	-

4.5. Podsumowanie

W swoim założeniu iniekcje mają doprowadzić do sytuacji, w której dzięki hydrofobizacji lub uszczelnieniu zatrzymany zostanie transport kapilarny wody. Badania laboratoryjne w większości przypadków potwierdzają skuteczność stosowanych preparatów.

Problemy pojawiają się przy przeniesieniu rozwiązań z laboratorium do rzeczywistych obiektów. Związane są one z błędnym doбором preparatu i technologii, jakością projektu i samego wykonawstwa. Opracowania producentów dotyczące technologii wykonania izolacji zakładają często sytuację idealną. Materiał muru jest w stanie technicznym bardzo dobrym (jednorodny, pozbawiony pęknięć), spoiny są równej grubości i regularne, a ich zaprawa zapewnia właściwe wiązanie. Zgodnie z nimi polecany preparat bez względu na materiał i jego wilgotność zapewni wytworzenie trwałej i szczelnej przepony. Dodatkowo poszczególne firmy po prostu konkurują ze sobą i nie są zainteresowane ujawnieniu słabych stron ich rozwiązań. W wielu przypadkach, na negatywną ocenę działania danej metody wpływ ma nie sam materiał przepony, czy też zalecana technologia, ale jej błędne projektowanie lub też wykonawstwo. Równie częste są przypadki braku kompleksowości prac i kompatybilności użytych materiałów.

Rzeczywistość jest jednak taka, że obiekty w których decydujemy się na wykonanie izolacji chemicznych nie spełniają wyżej wymienionych warunków. Najczęściej są to przegrody zniszczone, niejednorodne materiałowo często o bardzo dużej grubości. Występują w nich kawerny i spękania, a poziom wilgotności jest zmienny. W takich przypadkach kluczowym jest właściwe rozpoznanie przegrody przeznaczonej do wykonania iniekcji oraz ścisła kontrola całego procesu iniekcji.

5. OPOKA

Polska jest krajem zasobnym w złoża skał wapiennych i pokrewnych, ale występowanie tych złóż jest nierównomierne. Koncentruje się głównie w południowej części kraju, a w innych regionach występują w znacznie mniejszych ilościach. Ze względu na temat pracy ich dokładna charakterystyka ograniczana została do opok wapienistych.

Opoka jest skałą powstającą w wyniku nagromadzenia węglanu wapnia (kalcyt) i krzemionki pochodzącej z igieł gąbek (występującej w postaci opalu i chalcedonu) wraz z domieszkami glaukonitu oraz substancji ilastych. Skała ta powstała na powierzchni ziemi jako skała osadowa z produktów wietrzenia innych skał budujących litosferę oraz ze szczątków organizmów zwierzęcych i roślinnych, a także z różnych soli strąconych w zbiornikach wodnych. [63]



Rys. 5.1 Przykłady zabarwienia opoki z rejonu Kazimierza Dolnego.



Rys. 5.2 Przykłady zabarwienia opoki z rejonu Kazimierza Dolnego.

Opokami nazywamy skały przejściowe między skałami węglanowymi a krzemionkowymi. Charakteryzują się one znaczną ilością rozproszonej krzemionki skrytokrystalicznej oraz zawierają 5-75% krzemionki autogenicznej w postaci opalu lub chalcedonu. Skała ta trawiona w kwasie solnym nie rozpada się dzięki obecności szkieletu krzemionkowego. Najczęściej występują opoki wapieniste zawierające 28,0-42,0% CaO i 25-50% SiO₂. [63][68]

Ze względu na wspomniane wyżej bardzo duże różnice w zawartości krzemionki w skale klasyfikuje się opoki na wapienowe, zawierające od 5 do 25% krzemionki, opoki wapieniste od 25 do 50% krzemionki i opoki od 50 do 75% tego składnika. Obecność dodatków często wpływa na

barwę skały. Najbardziej barwiącym pierwiastkiem jest żelazo, które w zależności od stopnia utlenienia, może powodować dużą różnorodność zabarwień od koloru żółtego do czerwono-brunatnego. Zabarwienie dają również związki tytanu, chromu, miedzi i niklu. [68][118]

5.1. ZŁOŻA OPOKI W POLSCE

W Polsce skały te występują na Wyżynie Lubelskiej w okolicach Radomia, oraz w okolicach Łodzi i w niecce Nidziańskiej. [16]

W okolicach Radomia opoki turonu dolnego eksploatowane są w dużych ilościach w okolicach Ożarowa. W Janikowie od dawna wydobywany jest kamień dla celów rzeźbiarskich i budowlanych. Po II wojnie światowej otwarty został w Karsach duży kamieniołom, w którym wydobywa się wapienie lekkie. Skała ta określona została przez jako wapienie detrytyczne. Opoki z Kars należą technologicznie do grupy wapieni lekkich. Są to najlżejsze i najłatwiej obrabialne kamienie budowlane Polski. [63] Kamień po wydobywaniu jest miękki i podobnie jak w przypadku opoki kazimierskiej daje się piłować piłą ciesielską i obrabiać siekierą. Po wyschnięciu (utracie wody) opoki uzyskują wyższe wytrzymałości i obróbka jest znacznie trudniejsza.

Tab. 5.1 Skład chemiczny opok z okolic Kars. [63]

Złoże Kars	
CaO	37,54-50,49%
SiO ₂	30,51-40,94%
Al ₂ O ₃	0,78- 1,38%
Fe ₂ O ₃	0,16- 0,32%
MgO	0,38- 0,58%

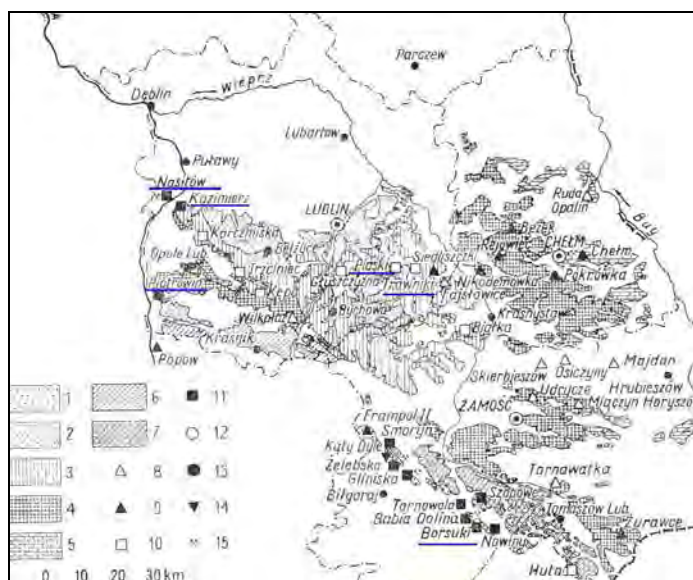
Opoki kredowe eksploatowane są również w niecce mogileńsko-łódzkiej, w okolicach Rożniatowa, Poddębic i Balina. Największe znaczenie mają opoki z okolic Rożniatowa (Czepów, Zaborów, Świnice, Kraski). Na podstawie licznej fauny wiek tej opoki określony został na dolny mastrycht. Mniejszy obszar występowania opok mastrychtu znajduje się w okolicy Poddębic na prawym brzegu Neru. Trzeci, najmniejszy obszar znajduje się na południe od Uniejowa w okolicy wsi Balin. [63]

Tab. 5.2 Skład chemiczny opok z okolic Łodzi. [63]

Złoże	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MK	MG
Rożniatów	35,76	30,49	3,83	0,36	7,28	10,63
Poddębice	35,2	32,0	3,8	0,1	8,20	38

W omawianych obszarach występują trzy typy opok: porowata, częściowo odwapniona i zwięzła. Opoka porowata jest lekka, barwy kremowej, łatwa w obróbce. Zawartość CaO nie wykazuje większych zmian. Ten typ skały jest głównie przedmiotem obecnej eksploatacji. Eksploatacja prowadzona jest do głębokości 6 m, do poziomu wody gruntowej. Niżej występuje opoka częściowo odwapniona o zawartości około 30% CaO, przechodząca ku dołowi w opokę zwięzłą. [63]

Na Wyżynie Lubelskiej opoki wapniste zajmują znaczne obszary i tworzą grube serie w mastrychcie, kampanie, santonie i turonie. Na rysunku poniżej przedstawiono mapę geologiczną Lubelszczyzny z zaznaczonymi nazwami miejscowości gdzie pozyskiwano lub nadal wydobywa się kamień.



Rys. 5.3 Mapa geologiczna Lubelszczyzny. [63]

Najstarsze opoki turońskie odsłaniają się w okolicach Annopola. Występują tu dwa rodzaje opok: opoki z przerostami czertów i konkrecji lub ławicami krzemieni oraz gruboławicowe opoki z pojedynczymi czertami. [63][116] Szczegółowe badania w skarpie doliny Wisły na odcinku od Opoczki do Jakubowic wykazały dużą różnorodność typów litologicznych pośrednich między marglami i opokami, o zróżnicowanym składzie chemicznym i własnościach fizycznych. Zawartość CaO w badanych opokach wynosi 30-48%, SiO₂ 5-46%, przy czym czerty zawierają 45-62% SiO₂. Wyższą zawartość węglanów zawierają opoki bogate w czerty i krzemienie. Natomiast w opokach gruboławicowych ubywa węglanów na korzyść

krzemionki. Oba rodzaje opok należą do skal o małej wytrzymałości na ściskanie w stanie suchym, zróżnicowanej porowatości 28-50% i dużej nasiąkliwości. [63][68]

Bardziej jednorodne opoki z czertami występują w santonie. Badania prowadzone w drugiej połowie lat sześćdziesiątych opok santonkich wykazały nieznaczne wahania zawartości CaO 23-31% i SiO₂ 36-43%, Również wytrzymałość na ściskanie jest wyższa i mniej zróżnicowana. W budownictwie stosowane są w ograniczonych ilościach ze względu na słabe odsłonięcia. [63][68]

Opoki kampańskie tworzą gruboławicowy jednolity kompleks litologiczny ze sporadycznymi skupieniami czertów, dobrze odsłonięty w profilu Wisły i w południowo-zachodniej Lubelszczyźnie. Opoki występujące na odcinku od Sulejówka do Józefowa charakteryzują się zawartością CaO 25-37% i SiO₂ 22-36%. Maksymalna porowatość tych opok wynosi 47%. Opoki kampańskie były dość powszechnie stosowane w budownictwie.

Rozległe wychodnie opok mastrychtu sprzyjają ich powszechnemu wykorzystaniu w budownictwie mimo dużego zróżnicowania litologicznego. Oprócz opok o małej wytrzymałości na ściskanie, występują opoki osiągające najwyższe wytrzymałości, jakie były notowane w seriach opok od turonu do kampanu. Opoki te charakteryzują się również najwyższą porowatością rzędu 37- 52% i bardzo wysoką nasiąkliwością objętościową. [63][68]

Tab. 5.3 Skład chemiczny opok w złożach. Na podstawie [63].

Parametr	Piotrowin	Kazimierz	Nasiłów	Trawniki
CaO, %	25,3—34,4	34,0—42,7	19,6—45,2	34,9-42,2
	28,4*	38,3	37,1	38,9
MgO, %	0,2—3,3	0,7—0,9	0,4—1,1	0,2—1,6
	1,4	0,8	0,7	0,6
SiO ₂ %	29,6—46,2	17,1—31,9	14,5—51,6	18,4—33,0
	39,7	24,5	25,9	24,5
Fe ₂ O ₃ , %	0,8—3,1	0,8	1,1—3,9	0,2—1,3
	1,2		1,7	1
Al ₂ O ₃ , %	1,2—5,2	1,3—2,0	1,0—4,1	1,0—4,1
	3,9	1,7	1,9	2,4
CaCO ₃ + MgCO ₃ , %	53,4	70,9	67,4	70,5
MK	7,8	9,8	7,2	7,4
MG	3,2	2,1	1,1	2,4
Liczba analiz	25	2	28	32

Tab. 5.4 Właściwości opok w złożach. Na podstawie [63].

Parametr	Piotrowin	Kazimierz	Nasiłów	Trawniki
Gęstość	2,2—2,6	2,4—2,6	2,5—2,6	2,4—2,6
[g/cm ³]	2,5*	2,5	2,6	2,5
Gęstość pozorna	1,1—1,5	1,3—1,7	1,3—1,6	1,4—1,6
[g/cm ³]	1,3	1,5	1,4	1,5
Nasiąkliwość wagowa	22,7—36,8	14,1—29,6	10,5—30,1	17,1—27,4
[%]	31,7	23,2	23,2	23,6
Nasiąkliwość objętościowa	—	—	10,7—50,0	27,3—38,1
[%]	—	—	26,7	35,2
Porowatość	37,9—50,6	35,4—50,1	40,4—51,1	38,7—42,8
[%]	46,5	42,3	46,2	39,1
Wytrzymałość na ściskanie	7,5—19,2	4,7—22,6	2,3—37,9	—
[MPa]	13,6	15,5	14,7	—
na sucho [MPa]	—	2,6—19,0	1,5—18,0	—
na mokro [MPa]	—	11,8	9,7	—
Ścieralność na tarczy	0,8—1,8	0,4—1,3	0,5—1,8	—
Bohmego [cm]	1,2	0,8	1,1	—
Mrozoodporność	3—25	12—25	3—22	—
[cykle]	13	21	13	—
Liczba badań	25	14	16	10

5.2. OPOKA JAKO MATERIAŁ BUDOWLANY.

Złóża opoki na terenach Polski od wielu wieków eksploatowano do celów budowlanych. Stosunkowo dobre parametry fizyczne, a przede wszystkim dostępność materiału i łatwość jego pozyskania na znacznym terenie Lubelszczyzny, stały się powodem masowego stosowania opoki jako materiału murowego. W czasach bliższych współczesności, zastosowanie wydobywanego w regionie materiału miało coraz większy zakres. Skałę zaczęto stosować w drogownictwie, a w ostatnich dziesięcioleciach jako materiał okładzinowy o charakterze dekoracyjnym. Opoki znalazły również zastosowanie jako surowiec do produkcji cementu. Po wyeksploatowaniu margli znajdujących się blisko powierzchni, cementownie zaczęły wydobywać opoki. Zaliczane są one do bardzo dobrych surowców mimo wysokich modułów MK i MG. Na bazie tego surowca rozpoczęto produkcję specjalnych wysokowytrzymałościowych cementów. [63]

5.2.1. Zalety opoki

Na masowe wykorzystywanie do celów budowlanych opoki, wpływ miało wiele czynników, związanych z właściwościami materiału, obróbką kamienia, kosztami eksploatacji złóż i transportem.

Wysoka jak na skały, średnio ok. 42%, porowatość opoki wpływa in plus na opór cieplny murów z tego kamienia. Współczynnik przewodności cieplnej w przybliżeniu wynosi $\lambda=0,61$ W/m²K. Wartość ta zbliża ten materiał do właściwości ceramiki budowlanej i lekkich betonów. Świadomi tej cechy ludzie już przed wiekami nazywali opokę wapnistą „ciepłym kamieniem”.

Materiał ten charakteryzuje się stosunkowo małym ciężarem właściwym, wartość średnia dla badanych złóż (Tab. 5.5) wynosi ok. 1,4 g/cm³. Dzięki temu nawet dość duże gabarytowo bloki mogły być przenoszone i obrabiane z wykorzystaniem siły fizycznej człowieka. Cecha ta była również istotna dla murarzy, ponieważ dzięki niej tempo wznoszenia muru było szybkie.

Dodatkową charakterystyczną zaletą opok jest to, że świeżo wydobyte dają się obrabiać nawet za pomocą najprostszych narzędzi (pił, siekier, szpadli). Proste metody obróbki umożliwiały modyfikacja faktury muru w zależności od upodobań.

Wysoka estetyka murów z opoki, jest następną z cech wpływających na popularność tego materiału dawniej i w czasach teraźniejszych. Jego cechy takie jak: naturalny rysunek jasna kolorystyka, łatwość utrzymania w czystości (brud jest łatwo zmywalny przez wody opadowe) wpłynęły na to, że tworzone z niego budynki były bardzo rzadko tynkowane. Zdobienie naroży i ościeżnic przy użyciu cegły ceramicznej, dawało kontrast, a tym samym ciekawy efekt wizualny.

Na popularność opoki, jako materiału murowego, największy wpływ miały jednak nie właściwości skały, a jej dostępność. W wielu miejscach złoża opoki zalegają płytko bezpośrednio pod warstwą humusu. Liczne odkrywki i mniejsze kopalnie zwane „kamieniakami” rozsiane na terenie występowania złóż, nie zmuszały ludzi do ponoszenia wysokich kosztów przy wydobywaniu i transporcie. Często zdarzało się tak, że gdy tylko było to możliwe zakładano urobisko opoki w niedalekim sąsiedztwie budowy. Wtedy kamień był na bieżąco wydobywany i poddawany obróbce na terenie budowy. Do dziś przy niektórych

budynkach lub w ich niedalekim otoczeniu pozostały opuszczone kopalnie lub częściowo zostały zasypane.

Bardzo duże znaczenie dla popularności budownictwa z opoki na Lubelszczyźnie miała jej cena. Do niedawna była ona wielokrotnie niższa niż innych materiałów murowych (np. cegły ceramicznej). Niski koszt zakupu obrobionego materiału, pozwalał na wznoszenie z opoki również poza miejscami jej wydobywania. Najlepszym przykładem jest miasto Lublin gdzie do dziś istnieje przynajmniej kilkadziesiąt budynków wzniesionych z opoki lub przy jej znacznym udziale.

5.2.2. Wady opoki

Opoka oprócz szeregu zalet, o których wspomniano w punkcie 5.1.1. ma również swoje minusy. Część z nich jest podobna do wad innych materiałów kamiennych, kilka wynika z charakteru samej opoki. Do najważniejszych wad ograniczających lub uniemożliwiających stosowanie opoki należą:

Konieczność sezonowania kamienia, polegająca na przezimowaniu kamienia w przyzmach na wolnym powietrzu. Opoka, bezpośrednio po wydobyciu ze złoża, nie nadaje się do wykorzystania jako materiał murowy czy też okładzinowy. Duża ilość materiału ulega spękaniu i częściowemu zniszczeniu.

Wytrzymałość na ściskanie materiału, jak na kamień, jest bardzo niska. Kolejnym mankamentem jest olbrzymi rozrzut wyników podczas badań, w zależności od złoża opoka może mieć wytrzymałość nawet w przedziale 2,3-37,9 MPa (opoka z kamieniołomu w Nasiłowie). Dodatkowo wytrzymałość na ściskanie próbek nasyconych wodą obniża się często o przeszło 50%. [63] Wszystko to powoduje dużą nieprzewidywalność opoki, szczególnie zbyt krótko sezonowanej, przy dużych obciążeniach murów.

Opoki charakteryzują się stosunkowo wysoką ścieralnością, znacznie większą niż w przypadku innych skał wapiennych. Właściwość ta wyklucza wykorzystywanie skał jako materiał posadzkarski.

Kolejną z wad kamienia jest jego duża nasiąkliwość, w przypadku opok wapnistych sięgająca nawet 50 %. Wysoka porowatość w połączeniu ze strukturą porów powoduje,

że w opoce dochodzi nawet do 90% wypełnienia wodą. Problem ten jest szczególnie istotny, w starszych obiektach, pozbawionych izolacji wodochronnych. Możliwość przyjmowania tak dużych ilości wody przy dość długim okresie odsychania jest dodatkowo problematyczna ze względu na niewielką mrozoodporność materiału.

Niezalecane jest również stosowanie opok w budownictwie drogowym ze względu na wspomnianą powyżej dużą ścieralność, nasiąkliwość i niewielką mrozoodporność ale z braku innego surowca są używane jako kamień łamany na drogi lokalne.

5.3. BUDOWNICTWO Z OPOKI NA TERENIE LUBELSZCZYZNY

Jednoznaczne określenie chociażby przybliżonego okresu czasu, w którym po raz pierwszy zastosowano opokę, jako kamień budowlany, na ziemiach województwa lubelskiego, jest jak na razie niemożliwe. Uważane za jedne z najstarszych zachowanych budowli z opoki na ziemi lubelskiej, czyli zamek w Kazimierzu Dolnym i zamek w Janowcu, datuje się na XVI wiek. Jednak całkiem logicznym wydaje się przypuszczenie, że początki budownictwa z tego kamienia sięgają X wieku, a być może czasów jeszcze wcześniejszych. [116]

W czasach obecnych, opoka staje się powoli materiałem luksusowym. Z powodu zamknięcia wielu kamieniołomów, cena metra sześciennego kamienia wzrosła kilkukrotnie. Problem ten widoczny jest zwłaszcza w rejonie Kazimierza, gdzie legalnie dostępna jest właściwie tylko jako materiał pozyskany z rozbiórek starych budowli. Należy nadmienić, że właśnie w okolicach Kazimierza Dolnego nad Wisłą oraz Nałęczowa, popyt na opokę jest największy, z racji intensywnego rozwoju tych miejscowości oraz mody na tradycyjne budownictwa i sam materiał.

5.3.1. Elementy murowe z opoki

Wyroby z kamienia naturalnego, przystosowane kształtem i wymiarami do określonych funkcji nazwano kamiennymi elementami budowlanymi. Norma PN-B-11210:1996 dzieli bryły kamienia pod względem kształtu i sposobu wykonania muru z kamienia łamanego. Kolejna norma (PN-EN 771-6:2002) rozróżnia podział elementów kamiennych gotowych

do wykorzystania w konstrukcji murowej. Elementy kamienia o kształcie zbliżonym do prostopadłościanu nazwano kamieniem łupanym.

Tradycyjne polskie budownictwo dzieli kamień na łupany:

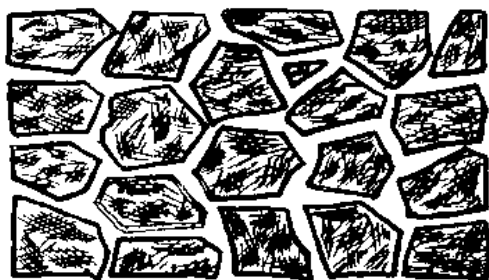
- Niesortowany – będący skalnymi odłamkami, których wymiar był większy niż 5cm i nie przekracza 50cm. Mur wykonany z takich elementów nazwany jest murem nieregularnym z kamienia niesortowanego lub po prostu „dzikim”. Nieregularny kształt elementów i powierzchnie wsporne odbiegające niekiedy pod znacznym kontem od poziomu sprawiają, że mur ten ma mniejszą wytrzymałość konstrukcyjną.[127]
- Sortowany – elementy kamienia o zbliżonych wymiarach, przypominający graniastosłup, najczęściej nie mniejsze niż 15cm i nie większe niż 35cm. Mur taki nazywano „cyklopowym”. Układ taki daje lepszy efekt wizualny i nieco lepszą wytrzymałość konstrukcyjną.
- Przycinany – jest to mur wykonany z kamienia łamanego sortowanego, poddany najprostszej obróbce ręcznej. Lico każdego elementu przycinane jest tak by tworzyło wielobok a krawędzie jego były ostre. Dawało to efekt pajęczyny lub plastra miodu. Wytrzymałość konstrukcyjna jest taka sama jak w murze „cyklopowym”. [103][127]



Rys. 5.4 Mur wykonany z kamienia łamanego niesortowanego[103]



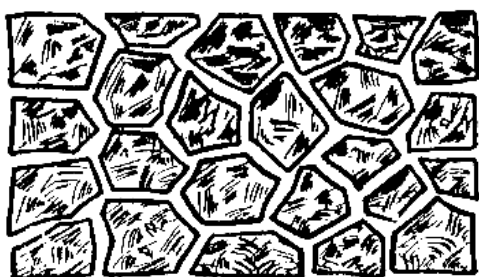
Rys. 5.5 Mur wykonany z kamienia łamanego niesortowanego



Rys. 5.6 Mur wykonany z kamienia łamanego sortowanego [103]



Rys. 5.7 Mur wykonany z kamienia łamanego sortowanego



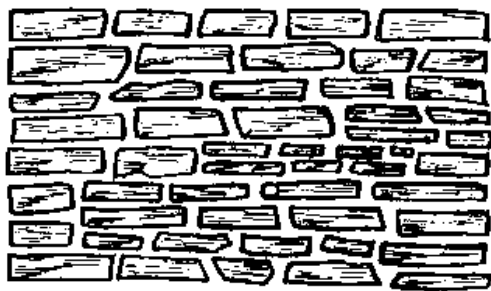
Rys. 5.8 Mur wykonany z kamienia łamanego przycinanego[103]



Rys. 5.9 Mur wykonany z kamienia łamanego przycinanego

Kamień łupany wykorzystywany w murach dzielony jest na:

- Warstwowo łupany – wydobywany kamień dobierano tak by powierzchnie wsporne były do siebie równoległe, obróbce poddawano zazwyczaj tylko powierzchnię licową, tak by jej kształt był zbliżony do prostokąta. Wymiary elementów są różne, wysokość jednego elementu może być nawet kilka razy większa niż sąsiedniego. Dzięki równoległemu ułożeniu powierzchni wspornych, mur taki ma dużo większą wytrzymałość.[127]
- Rzędowo łupany – powierzchnie wsporne powinny być prostopadłe do lica a cały element jak najbardziej przypominać prostopadłościan. Wszystkie elementy powinny być do siebie zbliżone wymiarowo, a najbardziej te znajdujące się w jednym poziomym rzędzie. Wysokości rzędów mogą nieznacznie się różnić. Mur taki zachowuje prawidłowe wiązanie między rzędami, podobnie jak mury ceglane, i tak jak one mają dużą wartość konstrukcyjną.[103] [127]



Rys. 5.10 Mur wykonany z kamienia łupanego warstwowo[103]



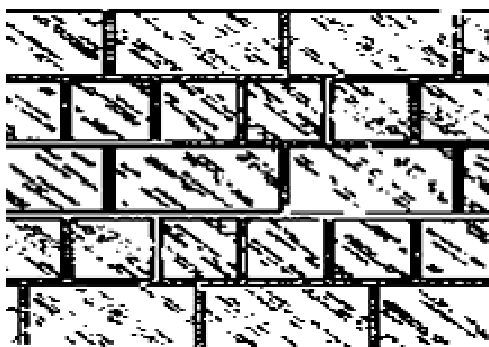
Rys. 5.11 Mur wykonany z kamienia łupanego warstwowo



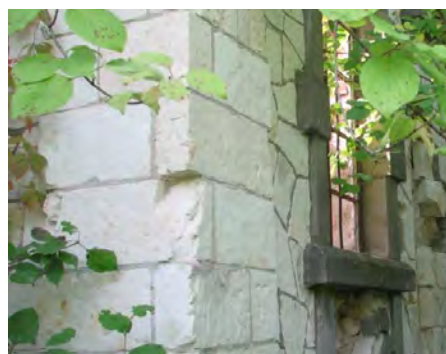
Rys. 5.12 Mur wykonany z kamienia łupanego rzędowo[103]



Rys. 5.13 Mur wykonany z kamienia łupanego rzędowo



Rys. 5.14 Przykład muru wymiarowego z kamienia ciosanego[103]



Rys. 5.15 Przykład muru wymiarowego z kamienia ciosanego

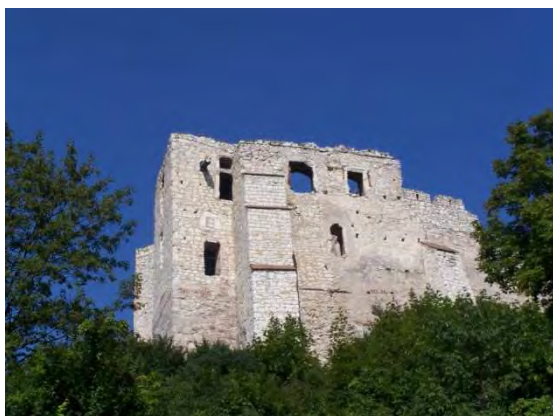
5.3.2. Budownictwo z opoki

Na terenie Lubelszczyzny budownictwo zabytkowe i tradycyjne z wykorzystaniem opoki stanowi dość znaczny procent. Na przestrzeni wieków rozwinęło się wiele ośrodków, gdzie znaczna część zabudowy powstała z tego materiału. Oczywiście najbardziej znanymi są Kazimierz nad Wisłą i Janowiec, należy jednak pamiętać, że z opoki budowano również w miejscowościach na wschód i południe od Lublina (Piaski, Trawniki, Biskupice, Gardzienice itp.). Obiekty wzniesione całkowicie lub częściowo z tego kamienia spotkać można również w większych miastach jak Lublin i Chełm. Z surowca o dość podobnej budowie powstawały również obiekty na terenie Zamojszczyzny. Powodowane to było dostępnością materiału, łatwością w jego pozyskaniu i obróbce oraz dość wysoką estetyką. Duże znaczenie miała również dość wysoka izolacyjność cieplna murów z opoki.

W celu uzasadnienia podjętej tematyki pracy zdecydowano o przeprowadzeniu szeregu wizji lokalnych w miejscowościach o znacznym udziale obiektów z opoki. Do badań polowych wybrano budynki z Kazimierza nad Wisłą, Piask i Trawniki. Wybór tych miejscowości spowodowany był procentowo największym udziałem opoki jako materiału murowego w obiektach zabytkowych i tradycyjnych. Dodatkowo w okolicach tych miejscowości zlokalizowane są mniejsze i większe kamieniołomy z których pobrano materiały do badań laboratoryjnych. Poniżej zamieszczono krótką charakterystykę budynków i zabudowy z opoki na wybranym terenie.

Kazimierz Dolny nad Wisłą

W okolicach Kazimierza Dolnego spotkać się można z największą różnorodnością obiektów wzniesionych z opoki. W samym mieście i niewielkiej odległości od niego znajdują się trzy zamki (Kazimierz, Janowiec, Bochońnica). Na terenie rynku wzniesiono kilkanaście kamienic w zabudowie zwartej. Pozostałe budynki centrum to wolnostojące obiekty mieszkalne i użyteczności publicznej. Poza wymienionymi budynkami można napotkać charakterystyczne dla Kazimierza Dolnego spichlerze zbożowe, które wzniesiono wzdłuż brzegu rzeki Wisły. Po za ścisłym centrum i w okolicznych miejscowościach przeważającą część stanowi zabudowa zagrodowa.



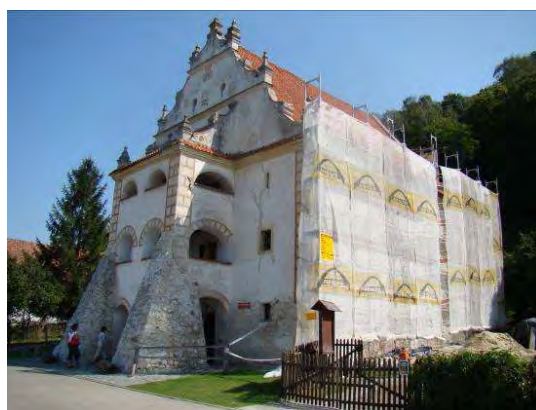
Rys. 5.16 Ruiny zamku w Kazimierzu Dolnym



Rys. 5.17 Ruiny zamku w Janowcu



Rys. 5.18 Kamienica w zabudowie zwartej. Kazimierz Dolny nad Wisłą



Rys. 5.19 Spichlerz w Kazimierzu Dolnym nad Wisłą



Rys. 5.20 Budynek wolnostojący w Kazimierzu Dolnym



Rys. 5.21 Zabudowa zagrodowa w Janowcu

Piaski

W związku z bliskością kamieniołomów w samych Piaskach i na terenie gminy znajduje się znaczna ilość obiektów wzniesionych z opoki. Przeważa zabudowa zagrodowa, jedynie w centrum miejscowości znajduje się kilkanaście budynków piętrowych o zabudowie pierzejowej. Większość budynków z opoki została wzniesiona pod koniec XIX i w pierwszej połowie XX w. W najstarszych budynkach nie przykładano dużej wagi do dbałości o formę i kształt kamienia, przeważają mury warstwowe z kamienia łamanego o różnej wielkości. W późniejszym okresie stosowano materiał obrabiany ręcznie, zmniejszyły się wymiary stosowanych bloków, a spoiny stały się regularne. W tym czasie zaczęto też stosować czerwoną cegłę do wykonywania naroży i nadproży oraz obmurowywano nią strefy funkcjonalne budynku. W ten sposób obiekty wznoszono, aż do schyłku budownictwa z opoki, czyli lat 60-tych XX w.



Rys. 5.22 Budynek wielorodzinny w Piaskach.



Rys. 5.23 Budynek w zabudowie pierzejowej. Piaski



Rys. 5.24 Budynek jednorodzinny w Piaskach.



Rys. 5.25 Młyn holenderski w gminie. Piaski.

Trawniki

Na terenie gminy Trawniki znajduje się ponad 100 budynków, których materiałem konstrukcyjnym jest opoka. Najwięcej z nich znajduje się w dwóch największych miejscowościach tej gminy czyli w Biskupicach i Trawnikach. W większości przypadków są to niewielkie domy jednorodzinne oraz budynki inwentarskie. Najstarsze obiekty pochodzą z XIX, część z nich to obiekty o charakterze zabytkowym. Na terenie gminy między innymi znajdują się: młyn typu holenderskiego i obora w Oleśnikach, budynki byłej cukrowni, młyn wodny w Siostrzycowie.



Rys. 5.26 Budynek jednorodzinny. Gmina Trawniki.



Rys. 5.27 Fragment zabudowy pierzejowej Trawnik.



Rys. 5.28 Ruiny kapliczki. Trawniki.



Rys. 5.29 Oleśniki. Ruiny młyna typu holenderskiego.

5.3.3. Badania obiektów z opoki.

W ramach prowadzonych prac polowych, na terenie trzech wymienionych w punkcie powyżej gmin, oględzinom i badaniom poddano kilkadziesiąt obiektów. W Kazimierzu Dolnym nad Wisłą wybrano do badań 20, Piaskach 20 i Trawnikach 19 obiektów wzniesionych całkowicie lub w większości z opoki. Ocenie podlegał stan techniczny budynków z naciskiem na problemy związane z wilgotnością i stanem zachowania murów przyziemia budynku. W znacznej części obiektów wykonane zostały badania wilgotnościowe metodą dielektryczną. Informacje uzyskane podczas wizji lokalnych i badań *in situ* zestawiono w tabelach. Ze względu na obszerność materiału w Załączniku 2 zamieszczono jedynie część tabel.

6. METODYKA BADAŃ

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. [94] Kontrolę szczelności przepon miała umożliwiać metoda pomiaru ciepła zwilżenia. [90] 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.

Ze względu na temat pracy autor zdecydował się 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.

Badania WTA 4-4-04

W najnowszej instrukcji WTA 4-4-04 [153] 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 obligatoryjnie.

Z analizy autora wynika, że na dzień dzisiejszy jest to jedno z najlepszych opracowań traktujących o przeponach wykonywanych metodami iniekcji. W najnowszej instrukcji zamieszczono szereg informacji i 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.

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. [153]

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. [153]

W instrukcji WTA zawarto opis badań preparatów stosowanych do iniekcji grawitacyjnych oraz niskociśnieniowych. Ze względu na tematykę pracy autor pominął w streszczeniu część dotyczącą iniekcji bezciśnieniowej.

Każdy z trzech murów testowy musi składa się z 7 warstw cegieł. Grubość spoin poziomych musi wynosić 12mm, a pionowych 10mm. 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 12,5cm. Po wykonaniu otworów wewnątrz należy odpylić. [153]

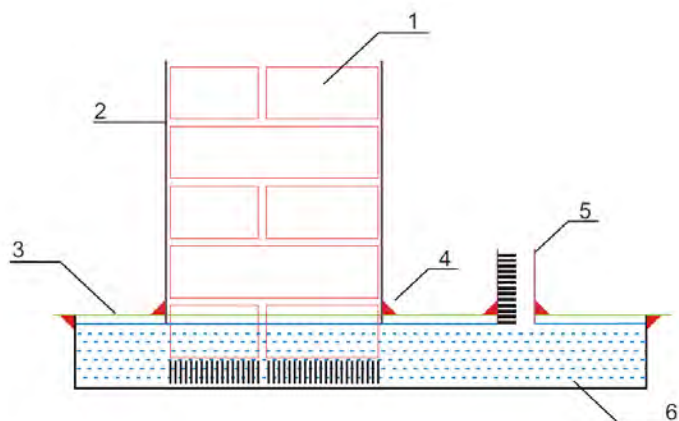
Kolejnym etapem jest ustalenie stopnia przesiąknięcia wilgocią. Murki należy podgrzać do temperatury 60°C i przechowywać w tej temperaturze do uzyskania stałej masy. Kolejną czynnością jest studzenie i nawilżanie wodą do wysycenia. Ilość wody potrzebnej do wysycenia próbek oznaczana jest wagowo lub objętościowo. Następnie obliczeniowo określa się ilość wody niezbędną do uzyskania właściwego współczynnika DFG. Po kolejnym wysuszeniu nasycy się murki właściwą ilością wody. Po zakończeniu procesu próbki

zabezpiecza się paroszczelną powłoką. Po 30 -90 dniowym sezonowaniu (wyrównanie zawilgocenia w objętości próbki) mur jest gotowy do dalszych badań. [153]

Iniekcję wykonuje się, zgodnie z danymi producenta preparatu iniekcyjnego. Po iniekcji w murze o DFG równym 95% natychmiast mur umieszcza się w pojemniku z wodą, tak aby połowa grubości dolnej warstwy cegieł znajdowała się w wodzie. Podobnie postępuje się z murem porównawczym. Powierzchnie próbki zabezpiecza się warstwą paroszczelną. Skuteczności przepływu określa się nie później, niż 14 dni po iniekcji. W murach o DFG 80% lub 60% bezpośrednio po iniekcji powierzchnie zostają pokryte warstwą paroszczelną. Oznaczanie skuteczności wykonuje się zgodnie z wytycznymi producenta iniektu, jednak nie później, niż 28 dni po wykonaniu iniekcji. [153]

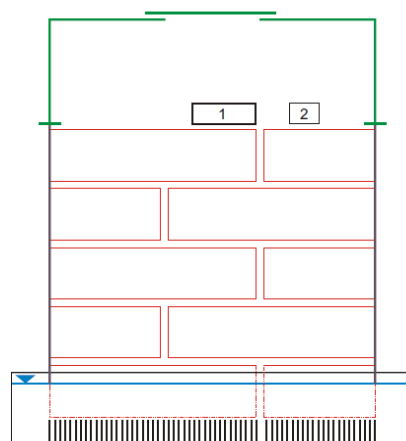
Skuteczność wykonanej przepływu określa się jedną z trzech metod:

- pomiar ilości objętości wody odparowanej z powierzchni przekroju poprzecznego próbki,
- pomiar ilości odparowanej wilgoci,
- pomiar wilgotności za pomocą mikrofali.



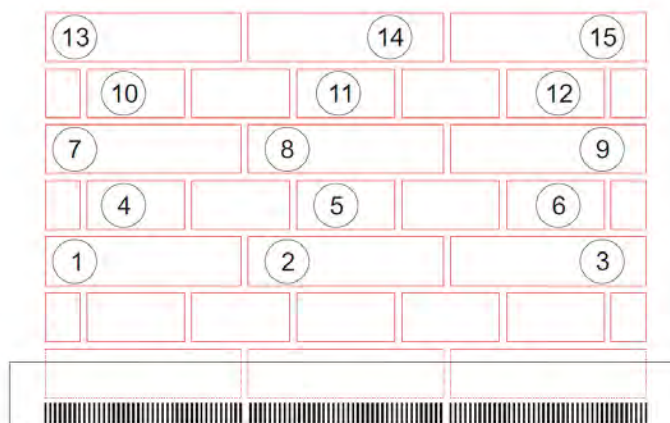
Rys. 6.1 Schemat sposobu badania skuteczności preparatu do iniekcji przez pomiar ilości objętości wody odparowanej z powierzchni przekroju poprzecznego próbki. 1- murek, 2- powłoka paroszczelna, 3- zbiornik z zamknięciem, 4-uszczelnienie, 5- cylinder pomiarowy z podziałką, 6 - woda

Rys. na podstawie [153]



Rys. 6.2 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 [153]



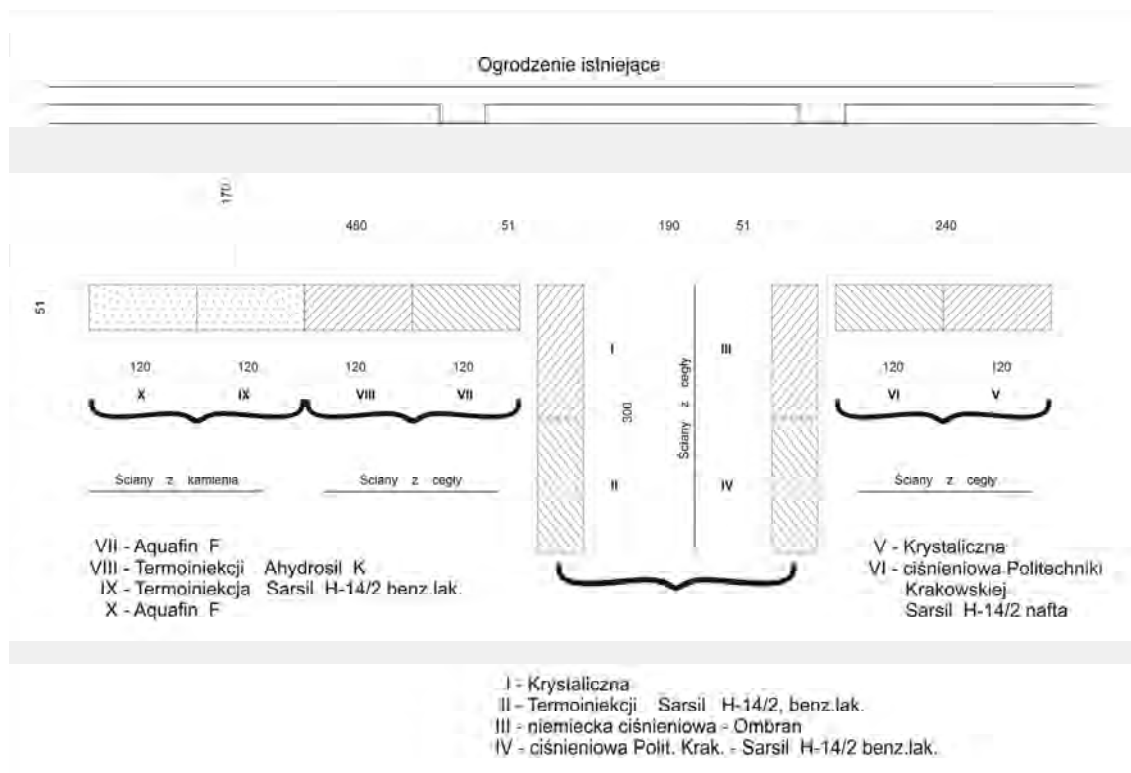
Rys. 6.3 Schemat sposobu badania skuteczności preparatu do iniekcji przez pomiar wilgotności za pomocą mikrofali.

Usytuowanie punktów pomiarowych . Rys. na podstawie [153]

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 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 rysunku 6.4.[109]



Rys. 6.4 Szkic sytuacyjny ścian doświadczalnych i zastosowane metody osuszania. Rys. na podstawie [109]

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. Próbkowanie odbywało się na głębokości 20cm, 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. [109]

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

7. PROGRAM BADAŃ WŁASNYCH

Celem badań jest określenie możliwości wykonania i skuteczności działania hydrofobizacji wgłębnej w murach z opoki. Na chwilę obecną brak jest jednolitych materiałów opisujących w sposób kompleksowy tego typu badania. W związku z tym, autor zdecydował o wykorzystaniu metodyki badań polecanej przez kilka różnych ośrodków badawczych. Całość badań została podzielona na cztery etapy.

I Etap

W pierwszym etapie prowadzono badania opoki i zapraw przed procesem hydrofobizacji. Wykonano badania cech fizyko – mechanicznych opok pochodzących z trzech kamieniołomów w okolicach Piask, Trawnik i Kazimierza Dolnego nad Wisłą. Badaniu poddano również kilka rodzajów zapraw: wapienną, wapienno-cementową, trasową i trasową modyfikowaną pianą. Wprowadzenie do badań zaprawy trasowej, podyktowane było coraz częstszym jej stosowaniem jako wypełniacza pustek i kawern, przed wykonywaniem przepony. W ramach prac I Etapu wykonano również badania struktury opoki. Zastosowano mikroskopię optyczną, analizę składu mineralnego metodą XRD i metodą termiczną DTA/TG oraz skaningową mikroskopię elektronową SEM. Dodatkowo wykonano szereg badań związanych z kalibracją urządzeń pomiarowych.

II Etap

W drugim etapie wykonano kolejno badania związane z doбором preparatów hydrofobizujących, przeprowadzono proces hydrofobizacji oraz badania promienia penetracji preparatu. Ze względu na przyjęte założenie, że trudniej iniekować jest kamień niż zaprawę spoin, badaniom wstępnym (dobór preparatów) poddano opokę. W badaniach II Etapu wykorzystano ciosy kamienne pochodzące z okolic Kazimierza Dolnego nad Wisłą. Kamień pochodził z rozbiórki, co wyeliminowało konieczność jego sezonowania. Podczas tych badań wybrano trzy środki, które udało się wtłoczyć w kamień. Przy zastosowaniu wybranych preparatów wykonano iniekcje w dużej ilości ciosów kamiennych i próbek zapraw. Po wbudowaniu preparatu sprawdzono skuteczności hydrofobizacji.

III Etap

Trzeci z etapów badań polegał na wyznaczeniu cech fizyko – mechanicznych opoki i zapraw po hydrofobizacji. W przypadku opoki wykonano badania: wytrzymałości na ściskanie, nasiąkliwości wodą, kapilarnego podciągania, odporności na zamarzanie, odporności na krystalizację soli oraz zasolenia. W zaprawach wykonano badania: nasiąkliwości, kapilarnego podciągania oraz kapilarnego podciągania przez pomiar wilgotności masowej. Wykonano również badania struktury opoki. Do badania zmian w strukturze opoki po hydrofobizacji zastosowano skaningową mikroskopię elektronową SEM oraz metodę sorpcji par azotu.

IV Etap

Czwarty z etapów dotyczył hydrofobizacji murów. Badania prowadzono na trzech murach badawczych, wzniesionych w Laboratorium Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej. Właściwe oznaczenia poprzedzono badaniami możliwości wykonania iniekcji w blokach wielkowymiarowych z opoki i szybkości podciągania kapilarnego wody w murach z opoki. Iniekcję wykonano trzema metodami. W murze nr 1 wykonano iniekcje dwustronną w murze, w murze nr 2 i iniekcje jednostronną z wypełnieniem rys i spękań zaprawą na bazie trasy, w murze nr 3 iniekcje jednostronną. Na zakończenie przeprowadzono badania skuteczności przepony chemicznej w murze z opoki.

W sumie na przestrzeni trzech lat, realizując kolejne etapy badań, wykonano ponad tysiąc oznaczeń. W tabeli poniżej zamieszczono tabelaryczne zestawienie liczby badań.

Tab. 7.1 Zestawienie liczby pojedynczych badań wykonanych przy realizacji pracy

Grupa badań	Etap badań	Liczba oznaczeń
Badania kalibracyjne urządzeń pomiarowych	I	68
Badania cech opoki przed hydrofobizacją	I	102
Badania cech zapraw przed hydrofobizacją	I	257
Dobór preparatu	II	40
Iniekcja opoki	II	30
Iniekcja zapraw	II	60
Badania cech opoki po hydrofobizacji	III	120
Badania cech zapraw po hydrofobizacji	III	288
Hydrofobizacja murów	IV	226
Suma		1091

8. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW PRZED HYDROFOBIZACJĄ

8.1. CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO – MECHANICZNYCH OPOKI

W ramach prowadzonych prac wykonano badania cech fizyko-mechanicznych opoki pochodzącej z trzech miejscowości: Piask, Trawniki i Kazimierza Dolnego nad Wisłą. Ze względu na temat pracy (iniekcje w murach) zrezygnowano z materiału pochodzącego bezpośrednio ze złoza. We wszystkich przypadkach materiał do badań pochodził z rozbiórek istniejących obiektów. Próbkę przygotowano docinając ciosy kamienne do wymiarów zgodnych z wymaganiami poszczególnych norm. Łączna liczba przygotowanych próbek wyniosła 360 po 120 sztuk z każdej z miejscowości. Badania były prowadzone w Laboratorium Politechniki Lubelskiej od lutego do maja 2008 roku. Materiał ten poddano badaniu cech istotnych dla materiałów konstrukcyjnych, czyli: wytrzymałości na ściskanie, nasiąkliwości, gęstości właściwej, gęstości pozornej, ścieralności, podciąganiu kapilarnemu, otwartej porowatości i szczelności. Ze względu na obszerność materiału poniżej zamieszczone zostały wyniki końcowe poszczególnych badań. Opisy szczegółowe badań znajdują się w Załączniku 3.

Tab. 8.1 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie

Złoże	Liczba próbek	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Kazimierz	14	15,88
Piaski	6	11,44
Trawniki	6	20,70

Tab. 8.2 Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie

Złoże	Liczba próbek	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]
Kazimierz	6	3,55
Piaski	6	2,44
Trawniki	6	4,32

Tab. 8.3 Oznaczanie ścieralności

Złoże	Liczba próbek	Ścieralność [cm]
Kazimierz	3	0,85
Piaski	3	0,78
Trawniki	3	0,88

Tab. 8.4 Oznaczanie nasiąkliwości

Złoże	Liczba próbek	Nasiąkliwość [%]
Kazimierz	6	26,6
Piaski	6	29,5
Trawniki	6	25,6

Tab. 8.5 Oznaczanie gęstości pozornej

Złoże	Liczba próbek	Gęstość pozorna [g/cm ³]
Kazimierz	5	1,37
Piaski	3	1,37
Trawniki	3	1,53

Tab. 8.6 Oznaczanie gęstości właściwej

Złoże	Liczba próbek	Gęstość właściwa [g/cm ³]
Kazimierz	5	2,43
Piaski	3	2,62
Trawniki	3	2,60

Tab. 8.7 Oznaczanie szczelności

Złoże	Liczba próbek	Szczelność [%]
Kazimierz	5	56,38
Piaski	3	52,23
Trawniki	3	59,15

Tab. 8.8 Oznaczanie porowatości

Złoże	Liczba próbek	Porowatość [%]
Kazimierz	5	43,62
Piaski	3	47,77
Trawniki	3	40,85

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych próbek opok z Trawniki, Piaski i Kazimierza Dolnego nad Wisłą stwierdzono, że:

- Wszystkie trzy opoki zaliczane są do skał tzw. lekkich, ich gęstość pozorna wynosi od 1,37 do 1,53 g/cm³.
- Żadna z badanych skał nie wyróżnia się pod względem ciężaru właściwego. Osiągnięte wyniki są porównywalne do wyników innych złóż w Polsce.
- Opoki z kamieniołomów w Kazimierzu Dolnym nad Wisłą i Piaski wykazują niską wytrzymałość na ściskanie. Wyższe wyniki osiągnięte dla próbek z Trawniki nie przekraczają wartości zbadanych dla złóż z poza regionu.
- Ze względu na porowatość, skały ze wszystkich trzech badanych złóż zaliczamy do bardzo porowatych.

- Na podstawie badań opoki z Lubelszczyzny zakwalifikowano jako skały bardzo nasiąkliwe.
- Wyniki uzyskane na tarczy Bohemego, dla wszystkich trzech złóż, wykazały dużą ścieralność opok.

Tab. 8.9 Klasyfikacja badanych opok regionu Lubelszczyzny na tle innych występujących na terenie Polski.

Opoki mastrychckie	Gęstość [g/cm ³]	Gęstość pozorna [g/cm ³]	Porowatość [%]	Nasiąkliwość [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Ścieralność na tarczy Bohemego [cm]
Piotrowin k/ Radomia ¹	2,5	1,3	50,7	35,1	21,4	0,6
Podzamek /woj. Dolnośląskie ²	2,6	1,4	46,4	27,7	27,5	1,2
Strzyżowice /pow. Puławski ²	2,5	1,6	35,6	18,1	55,2	0,8
Wola Piasecka	2,62	1,37	47,8	29,5	11,44	0,78
Trawniki	2,60	1,53	40,9	25,6	20,70	0,88
Kazimierz Dolny	2,43	1,37	43,6	26,6	15,88	0,85

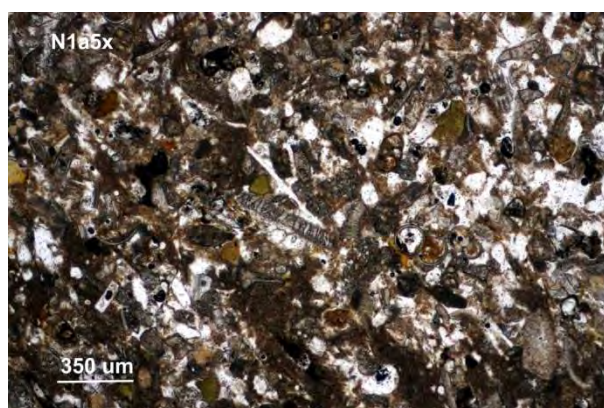
1 – wg S. Kozłowskiego „Surowce skalne polski” – 1986r., 2 – wg S. Kozłowskiego i K. Wyrwickiej – 1970r.

8.2. BADANIA STRUKTURY OPOKI

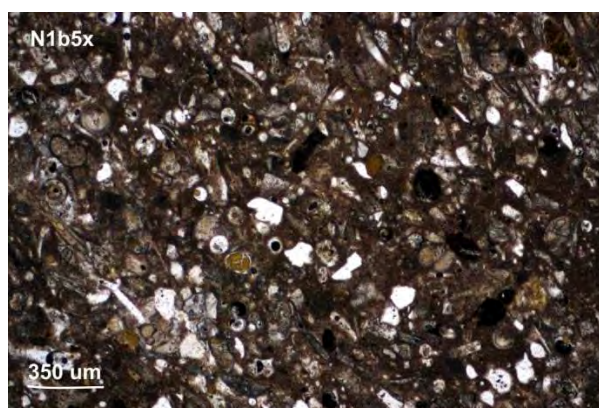
W ramach prowadzonych prac wykonano analizę mineralogiczno - petrograficzną opoki. Do badań wybrano opokę z Kazimierza Dolnego nad Wisłą. Badania wykonano przy pomocy mikroskopii optycznej, mikroskopii skaningowej (SEM), rentgenowskiej analizy fazowej (XRD) oraz termicznej analizy różnicowej.

8.2.1. Mikroskopia optyczna

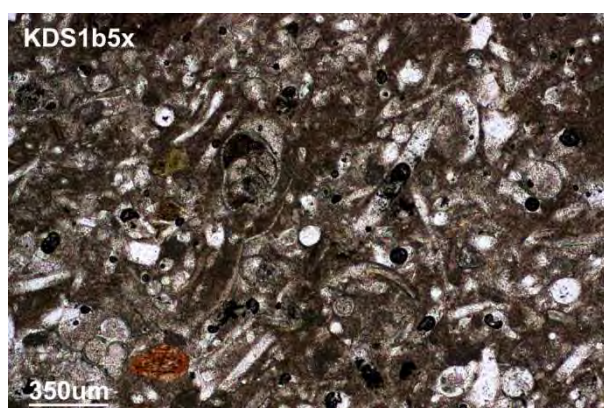
Badania mikroskopowe w świetle przechodzącym przeprowadzono przy użyciu mikroskopu typu Nikon. Zdjęcia wykonano używając obiektywów o powiększeniu 5, 10, 20 i 40 razy. Poniżej zamieszczono przykładowe fotografie opoki z Kazimierza Dolnego nad Wisłą .



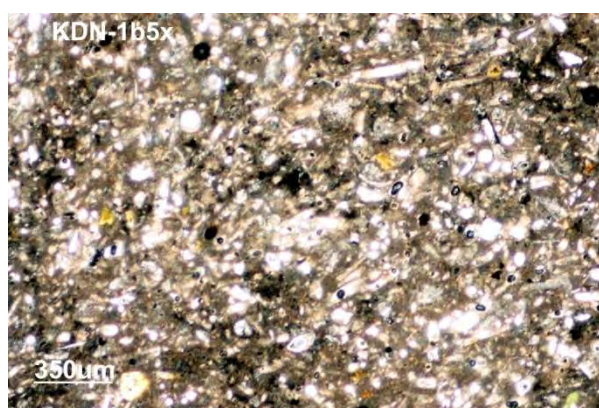
Rys. 8.1 Mikrostruktura opoki w mikroskopii optycznej



Rys. 8.2 Mikrostruktura opoki w mikroskopii optycznej



Rys. 8.3 Mikrostruktura opoki w mikroskopii optycznej



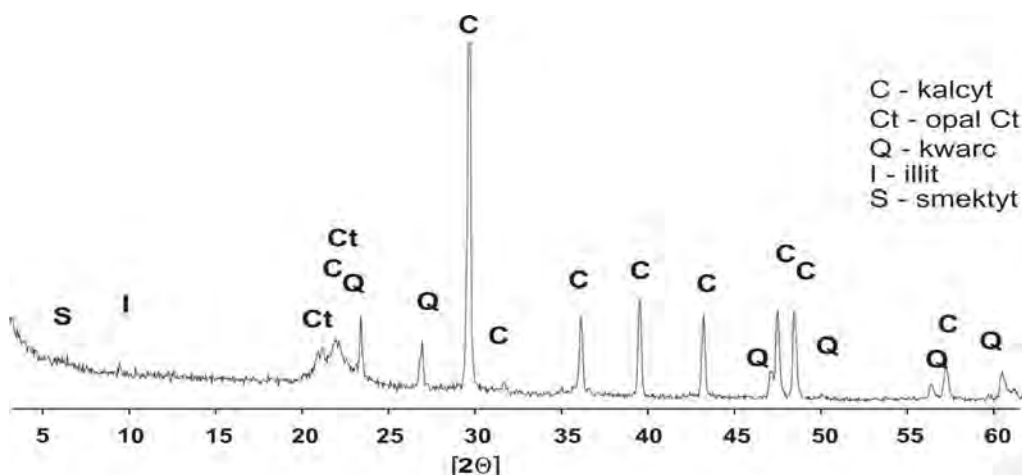
Rys. 8.4 Mikrostruktura opoki w mikroskopii optycznej

Obserwacje mikroskopowe wykazały bioorganodetryczną strukturę badanej opoki. W drobnoziarnistej masie skalnej można zauważyć węglanowe fragmenty planktonu morskiego oraz krzemionkowe, mocno pokruszone, szkielety igieł gąbek. Na fotografiach wyraźnie widoczne są również trawiasto-zielone ziarna glaukonitu oraz ceglasto-czerwone skupiska wodorotlenków żelaza.

8.2.2. Analiza składu mineralnego opoki metodą XRD (Rentgenowska analiza fazowa) oraz metodą termiczną DTA/TG

Ze względu na drobnoziarnisty charakter badanej opoki (brak możliwości dokładnej oceny na podstawie mikroskopii optycznej) zdecydowano o wykonaniu badań uzupełniających. Analizę składu mineralnego skały wykonano w oparciu o metody XRD (Rentgenowska analiza fazowa) oraz metodę termiczną DTA/TG.

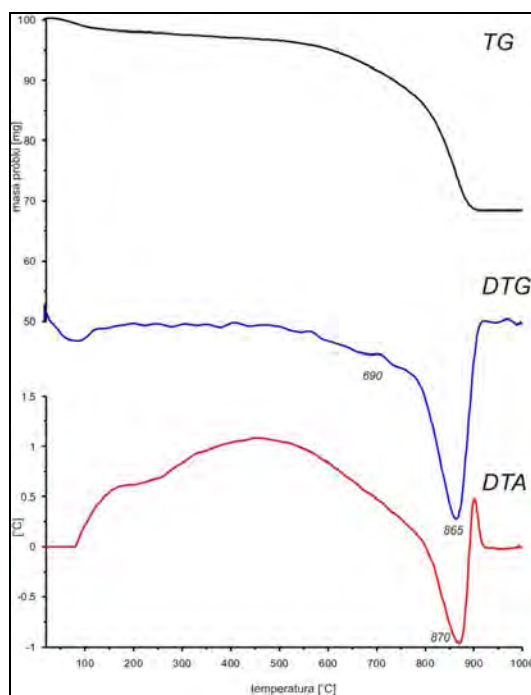
Na podstawie badań metodą XRD stwierdzono, że w składzie mineralnym badanej skały dominuje kalcyt, któremu towarzyszy skrytokrystaliczna krzemionka oraz niewielkie ilości kwarcu. Skład mineralny uzupełniają minerały ilaste smektyt i illit. Przykładowy wynik badań za pomocą rentgenowskiej analizy fazowej zamieszczono na poniższym rysunku.



Rys. 8.5 Wyniki analizy opoki metodą XRD

Badania metodą termiczną DTA/TG potwierdziły wcześniej zbadany skład mineralny. Pozwoliły również na ocenę ilościową składu. Zawartość głównego składnika mineralnego jakim

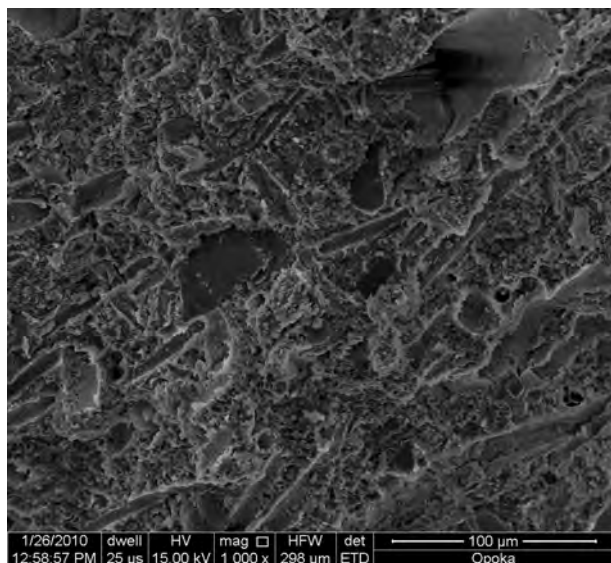
jest kalcyt wynosi 63%. W badanych próbkach stwierdzono również obecność krzemionki - ok. 15%, minerałów ilastych - ok. 11%. Kwarc i pozostałe minerały stanowią około 11%. Przykładowy wynik badań za pomocą metody DTA/TG zamieszczono na poniższym rysunku.



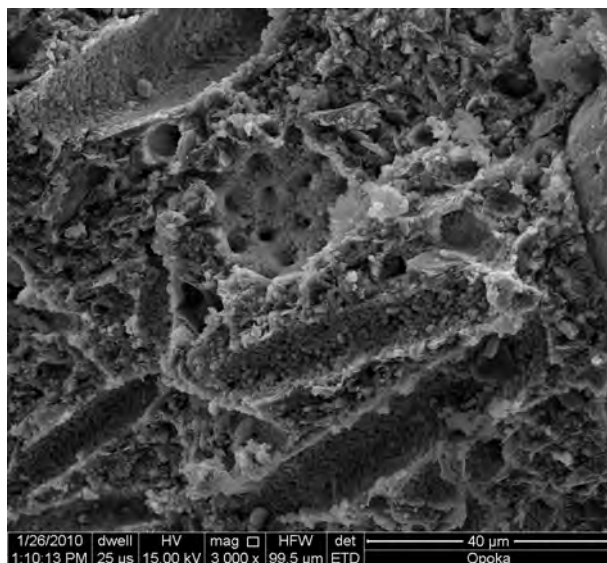
Rys. 8.6 Wyniki analizy opoki metodą DTA/TG

8.2.3. SEM -Skaningowa Mikroskopia Elektronowa

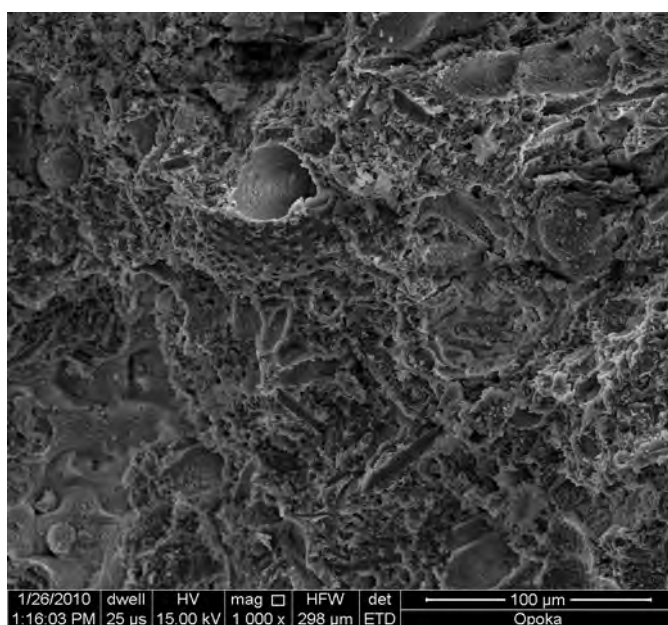
Badania opoki metodą SEM wykonano w Laboratorium Wydziału Budownictwa i Architektury PL przy użyciu aparatu QUANTA 250. Obserwacje w mikroskopie elektronowym wykazały wyraźnie porowaty charakter badanej opoki. Widoczne na zamieszczonych poniżej fotografiach pory, związane są z pozostałościami po krzemionkowych igłach gąbek. Miejsca po igłach tworzą pory o podłużnym, walcowatym kształcie. Bardzo duża ilość tego typu porów wpływa na wysoką wartość podciągania kapilarnego w opoce.



Rys. 8.7 Obraz SEM opoki z Kazimierza Dolnego nad Wisłą.



Rys. 8.8 Obraz SEM opoki z Kazimierza Dolnego nad Wisłą.



Rys. 8.9 Obraz SEM opoki z Kazimierza Dolnego nad Wisłą.

8.3. CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO - MECHANICZNYCH ZAPRAW

W ramach prowadzonych prac zdecydowano o wykonaniu badań zapraw używanych do wznoszenia murów z opoki. Oznaczeniom poddano zaprawę wapienną (dominującą w tego typu murach) oraz zaprawy wapienne z dodatkiem cementu (zaprawy wykorzystywane wspólnie). Dodatkowo wykonano badania dla zapraw trasowych ze względu na coraz częstsze stosowanie tych materiałów (jako wypełnienie pustek i kawern) w iniekowanych murach. W związku, z uzyskiwaną wysoką wytrzymałością na ściskanie zaprawy trasowej, zdecydowano o wykonaniu dodatkowych badań. Dodatek piany miał na celu napowietrzenie mieszanki trasowej, a co za tym idzie obniżenie wytrzymałości na ściskanie.

8.3.1. Przygotowanie próbek do badań

Próbki do badań zostały przygotowane w Laboratorium Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej. Do celów badawczych wykonano próbki z trzech rodzajów zapraw:

- Zaprawy wapienne (w proporcji 1:1,5 w proporcji wapno-piasek)
- Zaprawy wapienne z dodatkiem cementu (1:0,25:2 w proporcji wapno-cement-piasek),
- Zaprawy trasowe (bez i z dodatkiem piany w proporcjach 1:1; 1:0,5; 1:0,4 w proporcji zaprawa trasowa -piana).

Zaprawy wapienne i wapienno-cementowe przygotowane zgodnie z PN-B\85-04500. Zaprawy trasowe przygotowane zgodnie z instrukcjami producentów. Zaprawę trasową napowietrzono preparatem na bazie białka kurzego (dostarczonym przez producenta gotowej zaprawy trasowej). Preparat białkowy zostało wymieszany z wodą i rozrobiony do uzyskania sztywnej piany. Kolejnym krokiem było wymieszanie piany z zaprawą trasową w odpowiednim stosunku objętościowym.

Do badań cech fizyko-mechanicznych zapraw wykonano próbki w postaci graniastosłupa o wymiarach $40 \times 40 \times 160$ mm, w całkowitej liczbie 172 beleczek dla wszystkich typów użytych w badaniach zapraw. W sumie w ramach prowadzonych badań wykonano ponad 300 prób.



Rys. 8.10 Przygotowywanie piany do wymieszania z zaprawą trasową.



Rys. 8.11 Wykonanie beleczek

8.3.2. Oznaczanie cech fizyko - mechanicznych stwardniałych zapraw.

Próbki zapraw poddano badaniu: wytrzymałości na ściskanie i zginanie, nasiąkliwości, gęstości właściwej, gęstości pozornej, podciąganiu kapilarnemu, otwartej porowatości i szczelności. Ze względu na obszerność materiału poniżej zamieszczone zostały wyniki końcowe poszczególnych badań. Opisy szczegółowe badań znajdują się w Załączniku 4.

Tab. 8.10 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie

Zaprawa	Liczba próbek	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Wapienna	12	1,2
Wapienno-cementowa	12	2,0
Trasowa	12	30,5
Trasowa z pianą 1:1	6	3,6
Trasowa z pianą 1:0,5	6	12,8
Trasowa z pianą 1:0,4	6	15,8

Badania wytrzymałości na ściskanie przyjętych zapraw wykazały bardzo dużą wartość dla zaprawy trasowej. Próby zwiększenia porowatości poprzez dodanie piany pozwoliły na wyraźne obniżenie uzyskiwanych wytrzymałości do wartości przy których zaprawa trasowa mogła by zostać zastosowana jako wypełnienie pustek i kawern w murze.

Tab. 8.11 Oznaczanie wytrzymałości na zginanie

Zaprawa	Liczba próbek	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Wapienna	6	-
Wapienno-cementowa	6	0,65
Trasowa	6	2,18
Trasowa z pianą 1:1	3	-
Trasowa z pianą 1:0,5	3	-
Trasowa z pianą 1:0,4	3	-

Nie określono średniej wartości wytrzymałości na zginanie dla próbek z zaprawy wapiennej i trasowych z dodatkiem piany z powodu dużego zróżnicowania wyników. Badań nie powtórzono, gdyż ten parametr jest mało znaczący w dalszej części pracy.

Tab. 8.12 Oznaczanie nasiąkliwości

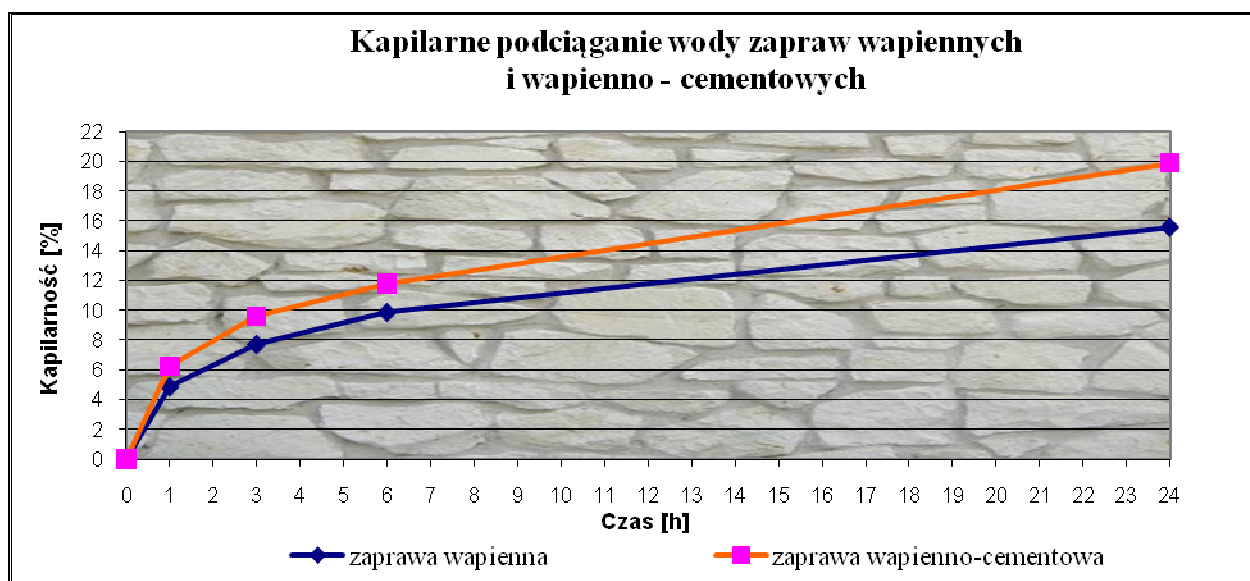
Zaprawa	Liczba próbek	Nasiąkliwość [%]
Wapienna	15	15,9
Wapienno-cementowa	15	20,9
Trasowa	15	25,9
Trasowa z pianą 1:1	3	31,3
Trasowa z pianą 1:0,5	3	28,8
Trasowa z pianą 1:0,4	3	27,8

Z przeprowadzonego badania wynika, że zaprawa wapienno-cementowa wykazuje większą nasiąkliwość niż zaprawa wapienna. W przypadku zapraw trasowych zwiększenie porowatości poprzez dodanie piany spowodowało kilku procentowe zwiększenie nasiąkliwości.

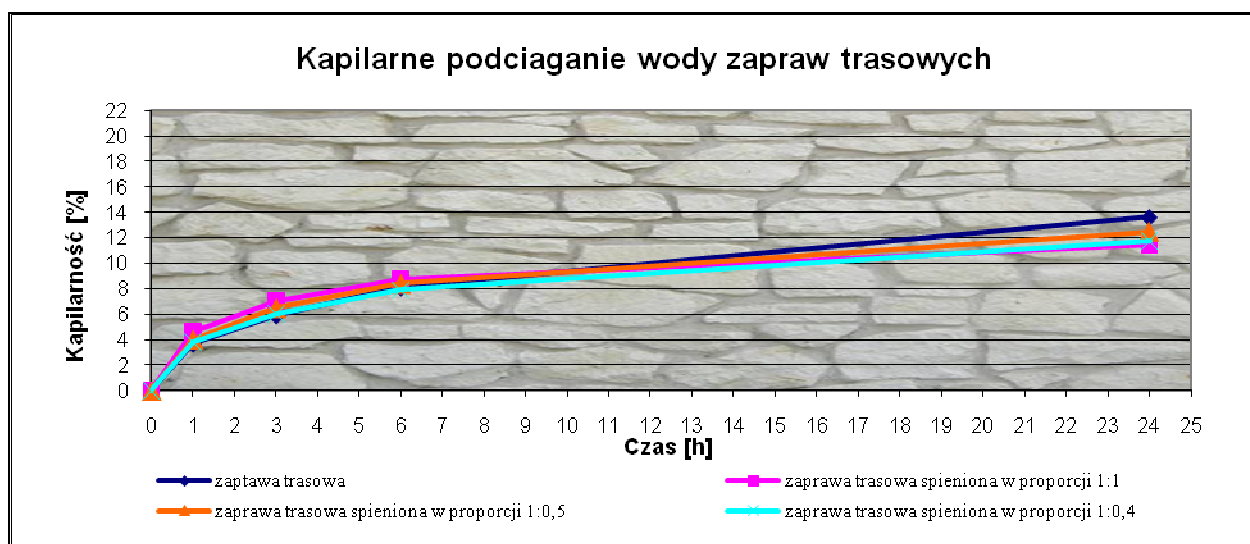
Tab. 8.13 Oznaczanie kapilarnego podciągania

Zaprawa	Liczba próbek	Kapilarność [%]
Wapienna	15	15,6
Wapienno-cementowa	15	19,9
Trasowa	15	13,6
Trasowa z pianą 1:1	3	11,4
Trasowa z pianą 1:0,5	3	12,5
Trasowa z pianą 1:0,4	3	11,7

Na podstawie wyników badań sporządzono wykresy kapilarnego podciągania wody dla zapraw wapiennych, wapienno-cementowych i trasowych bez i z dodatkiem piany. Z pośród badanych największą kapilarność uzyskała zaprawa wapienno-cementowa. Zaprawa trasowa wykazała niższą kapilarność od zapraw tradycyjnych. Zaprawy trasowe spienione mimo zwiększenia porowatości dwukrotnie do czystej zaprawy trasowej wykazały mniejszą kapilarność.



Rys. 8.12 Kapilarne podciąganie wody zaprawy wapiennej i wapienno - cementowej



Rys. 8.13 Kapilarne podciąganie wody zapraw trasowych

Badanie gęstości pozornej dało zbliżone wyniki dla zapraw wapiennej, wapienno-cementowej i trasowej. Modyfikowane zaprawy trasowe posiadają znacznie mniejszą gęstość, co jest wynikiem zwiększenia porowatości przy pomocy piany.

Tab. 8.14 Oznaczanie gęstości pozornej

Zaprawa	Liczba próbek	Gęstość pozorna [g/cm ³]
Wapienna	15	1,61
Wapienno-cementowa	15	1,59
Trasowa	15	1,55
Trasowa z pianą 1:1	3	0,76
Trasowa z pianą 1:0,5	3	1,19
Trasowa z pianą 1:0,4	3	1,28

Tab. 8.15 Oznaczanie gęstości właściwej

Zaprawa	Liczba próbek	Gęstość właściwa [g/cm ³]
Wapienna	6	2,58
Wapienno-cementowa	6	2,52
Trasowa i trasowa z pianą	18	2,40

Badanie gęstości właściwej metodą piknometryczną dało zbliżone wyniki dla zapraw wapiennej i wapienno-cementowej. Zaprawy trasowe czyste i modyfikowane pianą uzyskały identyczną wartość.

Tab. 8.16 Oznaczanie szczelności i porowatości

Zaprawa	Liczba próbek	Szczelność [%]	Porowatość [%]
Wapienna	6	62	38
Wapienno-cementowa	6	61	39
Trasowa	6	65	35
Trasowa z pianą 1:1	6	32	68
Trasowa z pianą 1:0,5	6	50	50
Trasowa z pianą 1:0,4	6	53	47

Zaprawy nie modyfikowane pianą uzyskały zbliżone porowatości. Zgodnie z zamierzeniami dodatek piany spowodował zwiększenie porowatości poszczególnych rodzajów zapraw trasowych.

9. HYDROFOBIZACJA MATERIAŁÓW

Badania poświęcone możliwości wytworzenia przepony chemicznej metodą iniekcji w materiałach wchodzących w skład murów z opoki podzielono na trzy etapy. Pierwszy etap badań polegał na doborze preparatów. Ze względu na przyjęte założenie, że trudniej iniekować jest kamień niż zaprawę spoin, badaniom poddano opokę wapnistą. W drugim etapie wykonano iniekcje ciosów kamiennych i próbek zapraw. Trzeci miał na celu sprawdzenie skuteczności hydrofobizacji.

9.1. DOBÓR PREPARATÓW HYDROFOBIZUJĄCYCH

W badaniach użyto kamień rozbiórkowy z Kazimierza Dolnego nad Wisłą. Próbki o wymiarach 0,3x0,3x0,15-0,20m docięto w zakładzie kamieniarskim. Do próby tłoczenia wybrano pięć różnych typów preparatów stosowanych w iniekcjach wgłębnych hydrofobizujących. Zastosowano kolejno: żywicę akrylową, mieszaninę krzemianu i estru, krzemian modyfikowany silikonem, emulsję silikonową oraz mikroemulsję silikonową.

Preparaty tłoczono za pomocą pompy membranowej z użyciem iniektorów wkręcanych i wbijanych. W sumie badaniom poddano 40 próbek, po 8 dla każdego z preparatów. Stosowane średnice otworów, ciśnienia oraz wilgotności próbek zestawiono w poniższych tabelach.



Rys. 9.1 Przygotowanie próbka z opoki do badań



Rys. 9.2 Proces iniekcji opoki.

9.1 Wyniki iniekcji z użyciem żywicy akrylowej

Nr próbki	Średnica [mm]	Wilgotność [%]	Ciśnienie [bar]	Uwagi
1	14	3,1	10	Przyjęła małą ilość preparatu
2	14	8,2	10	Przyjęła małą ilość preparatu
3	14	8,8	10	Przyjęła małą ilość preparatu
4	14	16,4	10	Przyjęła małą ilość preparatu
5	14	14,5		Przyjęła małą ilość preparatu
6	14	9,6	15	Przyjęła małą ilość preparatu- uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia
7	14	11,2	25	Przyjęła małą ilość preparatu- uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia
8	14	19,4	25	Przyjęła małą ilość preparatu- uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia

9.2 Wyniki iniekcji z użyciem mieszaniny krzemianu i estru

Nr próbki	Średnica [mm]	Wilgotność [%]	Ciśnienie [bar]	Uwagi
1	14	4,23	10	Przyjęła małą ilość preparatu
2	14	4,45	10	Przyjęła małą ilość preparatu
3	14	15,7	10	Przyjęła małą ilość preparatu
4	14	16,3	10	Przyjęła małą ilość preparatu
5	14	9,1	15	Przyjęła małą ilość preparatu- uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia
6	14	7,8	15	Przyjęła małą ilość preparatu
7	14	9,6	15	Przyjęła małą ilość preparatu- uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia
8	14	11,2	25	Przyjęła małą ilość preparatu- uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia

9.3 Wyniki iniekcji z użyciem krzemianu modyfikowanego silikonem

Nr próbki	Średnica [mm]	Wilgotność [%]	Ciśnienie [bar]	Uwagi
1	14	6,1	8	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
2	14	6,9	10	Uszkodzenie próbki przy podawaniu preparatu
3	14	17,5	8	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
4	14	16,5	8	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
4	14	17,8	10	Uszkodzenie próbki przy podawaniu preparatu
5	14	18,0	15	Uszkodzenie próbki przy podawaniu preparatu
6	14	9,6	15	Uszkodzenie próbki przy podawaniu preparatu
7	14	11,2	25	Uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia
8	14	19,4	25	Uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia

9.4 Wyniki iniekcji z użyciem emulsji silikonowej

Nr próbki	Średnica [mm]	Wilgotność [%]	Ciśnienie [bar]	Uwagi
1	14	6,12	10	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
2	14	6,98	10	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
3	14	17,53	10	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
4	14	17,84	10	Uszkodzenie próbki przy podawaniu preparatu
5	14	18,03	15	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
6	14	7,8	15	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
7	14	9,6	20	Uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia
8	14	11,2	20	Uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia

9.5 Wyniki iniekcji z użyciem mikroemulsji silikonowej

Nr próbki	Średnica [mm]	Wilgotność [%]	Ciśnienie [bar]	Uwagi
1	14	6,15	10	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
2	14	7,25	10	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
3	14	9,9	10	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
4	14	13,3	10	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
5	14	14,6	15	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
6	14	15,9	15	Zakończone po wypiętrzeniu preparatu
7	14	14,3	15	Uszkodzenie próbki przy podawaniu preparatu
8	14	16,5	25	Uszkodzenie po zwiększeniu ciśnienia

Na podstawie uzyskanych wyników i obserwacji podczas badań stwierdzono, że dwa z pięciu zastosowanych preparatów (żywica akrylowa oraz mieszanina krzemianu i estru) nie warunkuje możliwości wykonania przepony. Substancji tych, ze względu na budowę (wielkość cząsteczek) nie udało się wtłoczyć w opokę. Pomimo niejednoznacznych wyników, uzyskanych dla krzemianu modyfikowanego silikonem, preparat przyjęto do dalszych badań. Pozostałe preparaty (emulsja silikonowa oraz mikroemulsja silikonowa) dały zdecydowanie najlepsze efekty i zostały zakwalifikowane do kolejnych badań.

9.2. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO INIEKCJI HYDROFOBIZUJĄCEJ

Badania możliwości hydrofobizacji opoki prowadzono na ciosach kamiennych pozyskanych z materiału rozbiórkowego. Badany kamień pochodził z Kazimierza Dolnego nad Wisłą. W przeciwieństwie do badań wstępnych (dobór preparatów) nie zdecydowano się na docinanie ciosów do próbek regularnych. Podyktowane to było kosztami cięcia oraz dużymi stratami materiału. W sumie z zakupionego materiału (5 m^3) do badań wybrano 60 bloków kamiennych. Pozostały materiał został wykorzystany do budowy murów badawczych oraz do ewentualnej kolejnej serii badań.

W ramach prowadzonych badań hydrofobizacji zapraw przygotowano w sumie 60 próbek walcowych o wymiarach $300 \times 300\text{-}350\text{mm}$. Próbkę formowano zaprawą przygotowaną zgodnie z recepturami zamieszczonymi w punkcie „Przygotowanie próbek do badań”. Wykonano po 15 próbek z zapraw wapiennej, wapienno cementowej i trasowej oraz po 5 próbek dla każdego rodzaju zaprawy trasowej modyfikowanej pianą.

Formy zostały dokładnie oczyszczone ze wszelkich zanieczyszczeń i pokryte olejem w celu zabezpieczenia próbek przed uszkodzeniem w czasie rozformowywania. Po zaobserwowaniu efektu wiązania zaprawy wapiennej (najdłuższy czas wiązania) próbki rozformowano.

Obserwacje wykazały jedynie przypowierzchniowe wiązanie próbek wapiennych. W celu przyspieszenia wiązania zaprawy wapiennej poddano je procesowi karbonizacji. Wykonano szczelny namiot z żelaznego stelażu i folii budowlanej, a następnie włożone zostały próbki z zaprawy wapiennej i przeprowadzono uszczelnienie klapy namiotu karbonizującego. Do środka namiotu wpuszczono dwutlenek węgla, po czym otwór wlotowy zamknięto. Proces karbonizacji prowadzono przez 90 dni uzupełniając dwutlenek węgla co dwie doby. Następnie próbki poddano procesowi sezonowania przez 9 miesięcy.

Przed przystąpieniem do wykonywania iniekcji hydrofobizującej wgłębną, w opoce oraz w zaprawach, próbki poddano procesowi nasączenia wodą. Próbki zostały umieszczone w wannach tak aby woda sięgała do mniej więcej $\frac{1}{4}$ ich wysokości. Próbki z opoki obracano co 12 godzin, tak aby w wodzie znalazły się wszystkie powierzchnie. Próbki zapraw poddano

nasączeniu zgodnie z normą.[166] Po nasączeniu próbki wyjęto z wanien. W celu uzyskania różnych wilgotności masowych (wymogi badań) stale monitorowano wilgotność próbek. Wraz ze spadkiem wilgotności kolejne partie poddawano procesowi iniekcji. Od wilgotności najwyższych do najniższych. Pomiary wilgotności prowadzono miernikiem opornościowym z wprowadzonymi kalibracjami dla opoki i zapraw użytych w badaniach. Opis kalibracji miernika przedstawiono w rozdziale „Badania własne – Kalibracja urządzeń pomiarowych”.



Rys. 9.3 Widok próbki z opoki z zamontowanymi sędami do pomiaru wilgotności.



Rys. 9.4 Próbk z zaprawy wapiennej przed rozpoczęciem procesu karbonizacji.

9.3. PROCES HYDROFOBIZACJI MATERIAŁÓW

Przed przystąpieniem do iniekcji w każdej próbce został wywiercony otwór iniekcyjny o średnicy 12mm. Zwiercina z otworu wywierconego wolnoobrotową wiertarką udarową posłużyła do zbadania poziomu wilgotności każdej z próbek. Badanie wilgotności przeprowadzano metodą grawimetryczną. Następnie otwór został dokładnie wyczyszczony sprężonym powietrzem, by uniknąć zatkania otworu, które nie pozwalałoby na głęboką penetrację przez preparat. Do iniekcji użyto pompę pneumatyczną DITTMANN Uniprese D2 napędzaną kompresorem SCHNEIDER i pompę ręczną DESOI MZP-30. Podczas prac iniekcyjnych stosowano iniektory stalowe wielorazowego użytku z kalamitką spiczastą i iniektory plastikowe z główką płaską, o średnicy 12mm.

9.3.1. Opoka

Do iniekcji próbek przeznaczono wybrane w badaniach wcześniejszych trzy typy preparatów. W celu ułatwienia analizy oznaczono je jako: preparat I (na bazie krzemianu modyfikowanego silikonem), preparat II (na bazie emulsji silikonowej), preparat III (na bazie mikroemulsji silikonowej). Próbkę hydrofobizowano włącznie ze zmiennym ciśnieniem do 10 bar. Za koniec procesu iniekcji uznawano moment, w którym nie nastąpił znaczący spadek ciśnienia w okresie jednej godziny. W przypadku każdego z preparatów dla części bloków z opoki wykonano próby tłoczenia przy zwiększonym ciśnieniu. Przy preparatach II i III stosowano zmienne stężenia iniektów w zależności od uzyskanych wilgotności zgodnie z proporcjami podanymi przez producentów.

Preparat I - krzemian modyfikowany silikonem

Po wykonaniu pierwszych pięciu prób okazało się, że iniekcja preparatem jest stosunkowo trudna i powolna, a zużycie preparatu niewielkie. Próby iniekowania próbek o zmniejszających się wilgotnościach również nie dały zadowalających efektów. Badania zakończono po wykonaniu 10 prób badawczych, a materiał pozostawiono do dalszych badań.

Preparat II – emulsja silikonowa

W początkowym okresie badań z użyciem preparatu II, wykonano iniekcje w blokach kamiennych o małej lub średniej wilgotności. Próbkę stosunkowo dobrze przyjmowała preparat nie zaobserwowano jednak wypiętrzania się iniektu na powierzchni. Zastosowanie preparatu II w próbkach o wyższych wilgotnościach, optycznie przyniosło doskonały skutek. Podczas iniekcji próbki wydalały z siebie bardzo duże ilości wody, oraz dobrze przyjmowały preparat. Procesowi iniekcji poddano w sumie 20 próbek.

Preparat III – mikroemulsja silikonowa

Podczas tłoczenia preparatu III zaobserwowano podobne zjawiska jak przy wcześniejszym badaniu z użyciem emulsji silikonowej. Procesowi iniekcji poddano w sumie 20 próbek wariantując stężenie preparatu oraz ciśnienie robocze.



Rys. 9.5 Próbkę z opoki przygotowaną do procesu hydrofobizacji wgłębnej.



Rys. 9.6 Proces iniekcji próbki z opoki.

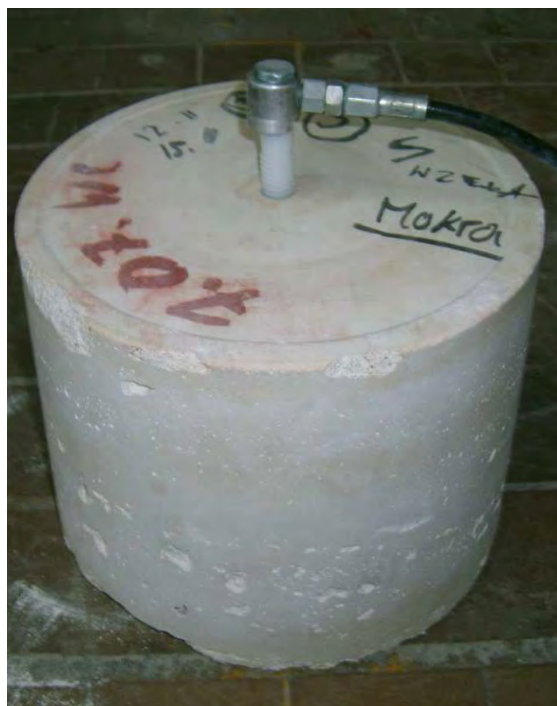
9.3.2. Zaprawy

Przy wyborze preparatu, warunkującego uzyskanie pozytywnych efektów podczas wykonywania przepon metodą iniekcji, autor pracy wyszedł z następującego założenia. Dobór iniektu uzależniony powinien być od możliwości wprowadzenia go w strukturę opoki. Uznano zatem, że możliwość wtłoczenia środka w kamień jest jednoznaczna z możliwością wtłoczenia w zaprawę. Ze względu na najlepsze wyniki uzyskane przy hydrofobizacji opoki do iniekcji zapraw wybrano preparat II (emulsję silikonową).

Podczas iniekcji stosowano zmienne ciśnienie zależnie od wcześniej zbadanej wytrzymałości danej zaprawy. W badaniach stosowano zmienne stężenia preparatu w zależności od uzyskanych wilgotności zgodnie z proporcjami podanymi przez producentów. Za koniec procesu iniekcji uznawano moment, w którym nie nastąpił znaczący spadek ciśnienia w okresie jednej godziny. Prowadząc proces wypełniania próbek preparatem kontrolowano jego zużycie.



Rys. 9.7 Proces tłoczenia preparatu II w próbce z zaprawy trasowej.



Rys. 9.8 Próbką z zaprawy wapiennej z zamontowanym iniektorem i węzłem zasilającym.

Zaprawa wapienna

Podczas iniekcji zapraw wapiennych wykonano 15 prób badawczych na próbkach o różnej wilgotności. Z uwagi na niewielką wytrzymałość zaprawy nie można było od razu stosować ciśnień dedykowanych do wykonywania iniekcji w murach (10 bar). Zastosowano ciśnienia w przedziale od 1-6 bar. Iniekcja próbek przy wilgotności powyżej 10% była utrudniona, ponieważ przy stosowaniu tak niewielkich ciśnień nie można wypchnąć tak dużej ilości wody z porów materiału. Z tego też powodu proces tłoczenia trwał znacznie dłużej niż w przypadku pozostałych zapraw. Pomimo tych ograniczeń udało się wtłoczyć preparat do 11 z 15 próbek. W przypadku pozostałych 3 zostały uszkodzone na samym początku tłoczenia i jedna pod koniec aplikacji.

Zaprawa wapienno-cementowa

Niezadawalającymi wynikami zakończyły się próby wtłoczenia preparatu do próbek z zaprawy wapienno-cementowej. W zaprawach tych, dzięki zbadanej większej wytrzymałości tłoczono preparat z ciśnieniem dochodzącym do 10 bar. Proces wypełniania trwał znacznie

dłużej, a ilości zużytego preparatu były wyraźnie mniejsze niż w przypadku zaprawy wapiennej. Próby zwiększenia ciśnienia do 10 bar pod koniec tłoczenia kończyły się uszkodzeniem próbki.

Zaprawy trasowe

Zdecydowanie najgorsze rezultaty przy tłoczeniu iniektu odnotowano w przypadku czystych zapraw trasowych. Do zapraw trasowych nie udało się wprowadzić preparatu. Efektów również nie uzyskano mimo znacznemu zwiększeniu porowatości zaprawy. Szczelna struktura porów uniemożliwia penetrację preparatu.

9.4. WSTĘPNE BADANIA SKUTECZNOŚCI HYDROFOBIZACJI MATERIAŁÓW

Próbki opoki oraz zapraw po wykonaniu iniekcji hydrofobizujących przechowywano w warunkach laboratoryjnych przez okres 60 dni. Czas ten był niezbędny do wysuszenia próbek i zakończenia procesu hydrofobizacji wewnątrz materiału. Odrzucono możliwość przyspieszenia suszenia w sposób sztuczny. Istniała obawa, że podwyższona temperatura zakłóci proces wbudowywania preparatu. Po upływie dwóch miesięcy próbki przecięto na połowy wzdłuż osi wykonanych podczas iniekowania otworów. Następnie przeprowadzono pomiary uzyskanych promieni penetracji (opoka i zaprawy) oraz wykonano badania absorpcji kroplą wody (opoka).

9.4.1. Opoka

Badania promienia penetracji preparatu w próbkach polegały na pomiarze z dokładnością do 1mm strefy która uległa hydrofobizacji. Początkowe próby wprowadzenia wraz z preparatem pigmentu, który przebarwiłby hydrofobizowany materiał, zakończyły się niepowodzeniem. Cząsteczki barwnika okazały się znacznie większe niż średnice porów opoki. Barwnik pozostał na ściankach otworu w próbce. Problem wyznaczenia zasięgu wbudowania preparatu rozwiązano nanosząc na przecięte próbki krople wody. Efekt tego postępowania widoczny jest w zamieszczonej na końcu rozdziału dokumentacji fotograficznej. Dodatkowo wykonano badanie skuteczności hydrofobizacji metodą absorpcji kropli wody. [240] Test ten zalecany jest jako wstępny test laboratoryjny dla hydrofobizowanej i niehydrofobizowanej powierzchni materiału.

Tab. 9.6 Zestawienie parametrów warunkujących skuteczność hydrofobizacji preparatu I

Nr próbki	Ciśnienie [bar]	Wilgotność [%]	Promień penetracji [cm]	Badanie absorpcji kroplą wody		
				Efekt hydrofobizacji tak/nie		
				3cm	6cm	9cm
I 1	10	9,04	0,3	nie	nie	nie
I 2	10	11,12	0,2	nie	nie	nie
I 3	10	10,88	0,1	nie	nie	nie
I 4	10	12,43	0,2	nie	nie	nie
I 5	15	14,78	1,1	nie	nie	nie
I 6	15	18,07	1,1	nie	nie	nie
I 7	15	17,26	0,9	nie	nie	nie
I 8	15	20,86	0,8	nie	nie	nie
I 9	15	23,24	1,0	nie	nie	nie
I 10	15	23,35	0,8	nie	nie	nie

Tab. 9.7 Zestawienie parametrów warunkujących skuteczność hydrofobizacji preparatu II

Nr próbki	Ciśnienie [bar]	Stężenie	Wilgotność [%]	Promień penetracji [cm]	Badanie absorpcji kroplą wody		
					Efekt hydrofobizacji tak/nie		
					3cm	6cm	9cm
II 1	10	1:10	8,12	5,2	tak	tak/nie	nie
II 2	10	1:10	9,65	5,6	tak	tak/nie	nie
II 3	10	1:10	12,24	5,5	tak	tak/nie	nie
II 4	15	1:8	16,13	5,9	tak	tak	nie
II 5	10	1:8	19,55	6,1	tak	tak	nie
II 6	10	1:8	18,12	5,8	tak	tak	nie
II 7	10	1:5	20,87	5,2	tak	tak/nie	nie
II 8	10	1:5	19,59	8,1	tak	tak	nie
II 9	15	1:5	23,34	9,4	tak	tak	tak
II 10	15	1:5	24,12	10,7	tak	tak	tak

Tab. 9.8 Zestawienie parametrów warunkujących skuteczność hydrofobizacji preparatu III

Nr próbki	Ciśnienie [bar]	Stężenie	Wilgotność [%]	Promień penetracji [cm]	Badanie absorpcji kroplą wody		
					Efekt hydrofobizacji tak/nie		
					3cm	6cm	9cm
III 1	10	1:9	11,34	3,4	tak	nie	nie
III 2	10	1:9	13,66	3,1	tak	nie	nie
III 3	10	1:9	14,02	3,6	tak	nie	nie
III 4	10	1:7	16,45	3,4	tak	nie	nie
III 5	15	1:7	19,33	8,7	tak	tak	nie
III 6	15	1:7	18,98	9,1	tak	tak	nie
III 7	15	1:6	20,54	8,8	tak	tak	nie
III 8	10	1:6	20,11	4,3	tak	nie	nie
III 9	10	1:5	26,67	3,9	tak	nie	nie
III 10	15	1:5	25,01	6,1	tak	tak	nie

Z badań wstępnych skuteczności i możliwości wytworzenia warstwy hydrofobowej w opoce wynika:

- Iniekcja preparatem I (krzemian modyfikowany silikonem) nie daje pożądanych rezultatów, promień penetracji jest znikomy, a badania absorpcji kroplą wody wykazują brak efektu hydrofobizacji.
- Iniekcja preparatem II przyniosła wymierne efekty. Po przecięciu próbek dokładnie widać duży promień penetracji, wynoszący średnio powyżej 5cm, a oznaczenie absorpcji kropli wody dało efekt pozytywny.
- Iniekcja preparatem III przyniosła połowiczne efekty. Udało się wprowadzić preparat i doszło do procesu hydrofobizacji materiału. Niestety częściowo niezadawalający jest uzyskany promień penetracji.
- Zarówno w przypadku preparatu II jak i III najlepsze efekty osiągnięto dla próbek o podwyższonej wilgotności, przy ciśnieniu 10 bar.

Dokumentacja fotograficzna



Rys. 9.9 Zakończone niepowodzeniem tłoczenie preparatu I



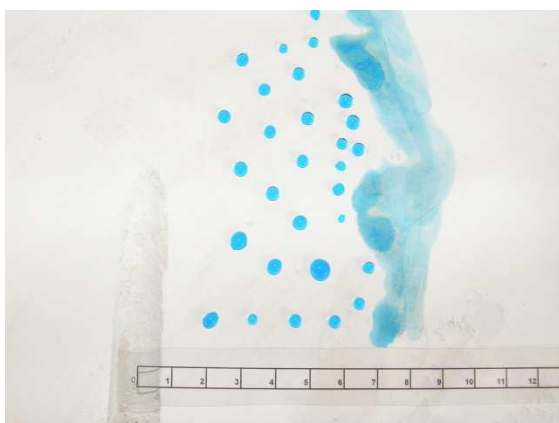
Rys. 9.10 Czop z krzemianu modyfikowanego silikonem wyjęty z otworu.



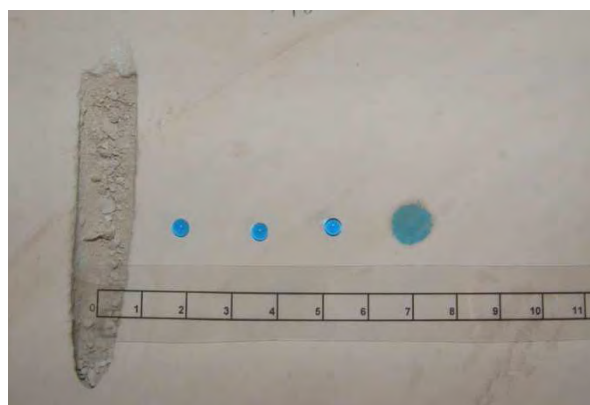
Rys. 9.11 Próbka II 10. Widoczny efekt hydrofobizacji na powierzchni przecięcia.



Rys. 9.12 Próbka III 6. badanie skuteczności hydrofobizacji metodą absorpcji kropli wody



Rys. 9.13. Próbka III 4. Pomiar promienia penetracji preparatu w opoce.



Rys. 9.14 III 10. Pomiar promienia penetracji preparatu w opoce.

9.4.2. Zaprawy

Badania promienia penetracji preparatu w próbkach polegały na pomiarze z dokładnością do 1mm strefy która uległa hydrofobizacji. W przeciwieństwie do opoki dodany do iniektu barwnik swobodnie migrował wraz z preparatem w pory zapraw. Zmiana barwy pozwoliła na stosunkowo dokładny pomiar promienia penetracji. Z uwagi na porowatą strukturę zapraw wapiennych nie można było określić promienia penetracji preparatu metodą absorpcji kropli wody. Dokładne badania skuteczności wytworzonej warstwy hydrofobowej zawarto w dalszej części pracy.

W zamieszczonych poniżej tabelach przedstawiono wyniki badań i pomiarów dokonanych w ramach prowadzonej hydrofobizacji. Zamieszczono dane dotyczące: użytego ciśnienia, stężenia preparatu, wilgotności próbek oraz ilości wchłoniętego przez próbki preparatu.

Tab. 9.9 Zestawienie parametrów warunkujących możliwość wykonania hydrofobizacji zaprawy wapiennej

Nr próbki	Ciśnienie [bar]	Stężenie preparatu	Wilgotność [%]	Ilość preparatu [ml]	Promień penetracji [cm]	Uwagi
1	1-4	1:10	6,6	250	2,5	uszkodzenie próbki
2	1-6	1:10	9,0	150	3,0	uszkodzenie próbki
3	1-4	1:10	11,2	400	7,0	-
4	1-5	1:10	12,6	250	3,5	uszkodzenie próbki
5	1-6	1:8	15,6	700	8,0	-
6	1-6	1:8	17,4	750	7,0	-
7	1-6	1:8	18,8	500	5,5	-
8	1-6	1:8	16,6	600	5,5	-
9	1-6	1:7	22,8	600	6,0	-
10	1-6	1:7	23,7	650	5,5	-
11	1-6	1:7	21,5	550	5,0	uszkodzenie próbki
12	1-6	1:7	22,6	600	5,5	-
13	1-5	1:6	24,5	800	7,5	-
14	1-6	1:6	23,8	800	8,0	-
15	1-6	1:6	25,6	850	7,5	-

Tab. 9.10 Zestawienie parametrów warunkujących możliwość wykonania hydrofobizacji zaprawy wapienno-cementowej

Nr próbki	Ciśnienie [bar]	Stężenie preparatu	Wilgotność [%]	Ilość preparatu [ml]	Promień penetracji [cm]	Uwagi
1	4-8	1:10	7,2	450	3	-
2	4-8	1:10	9,0	300	2,5	-
3	4-10	1:10	8,6	250	2	uszkodzenie próbki
4	4-8	1:8	12,0	300	3,5	-
5	4-8	1:8	11,9	300	3	-
6	4-10	1:8	13,6	250	2	-
7	4-10	1:8	12,5	200	2	-
8	4-8	1:7	18,3	250	2	uszkodzenie próbki
9	4-10	1:7	17,6	300	3,5	-
10	4-8	1:7	19,6	200	1,5	uszkodzenie próbki
11	4-8	1:8	16,3	100	0,5	uszkodzenie próbki
12	4-10	1:7	23,6	250	2	-
13	4-8	1:7	22,3	200	1,5	uszkodzenie próbki
14	4-8	1:7	21,9	100	0,5	-
15	4-10	1:7	25,6	250	2	uszkodzenie próbki

Tab. 9.11 Zestawienie parametrów warunkujących możliwość wykonania hydrofobizacji zaprawy trasowej

Nr próbki	Ciśnienie [bar]	Stężenie preparatu	Wilgotność [%]	Ilość preparatu [ml]	Promień penetracji [cm]	Uwagi
1	10-20	1:7	20,3	50	0,5	uszkodzenie próbki
2	10-20	1:7	15,6	20	0,3	-
3	10-20	1:7	24,5	20	0,3	uszkodzenie próbki
4	10-30	1:7	16,8	20	0,3	uszkodzenie próbki
5	10-20	1:7	18,1	40	0,5	-
6	10-20	1:7	20,0	20	0,3	-

Tab. 9.12 Zestawienie parametrów warunkujących możliwość wykonania hydrofobizacji zaprawy trasowej modyfikowanej pianą.

Nr próbki	Proporcja wymieszania z pianą	Ciśnienie [bar]	Stężenie preparatu	Wilgotność [%]	Ilość preparatu [ml]	Promień penetracji [cm]	Uwagi
1	1:1	10-20	1:7	21,2	20	0,5	uszkodzenie
2		10-20	1:7	23,0	20	0,5	-
3		10-20	1:7	18,6	0	0,5	uszkodzenie
4	1:0,5	10-20	1:7	24,2	20	0,3	-
5		10-20	1:7	21,6	20	0,5	-
6		10-20	1:7	20,4	50	0,5	-
7	1:0,4	10-20	1:7	21,8	20	0,3	-
8		10-20	1:7	20,2	20	0,5	-
9		10-20	1:7	22,0	20	0,5	uszkodzenie

Z badań wstępnych skuteczności i możliwości wytworzenia warstwy hydrofobowej w zaprawach (wapiennej, wapienno-cementowej i trasowych) wynika:

- Zadawalające efekty uzyskano tylko w zaprawie wapiennej. Podczas iniekcji przy zmiennym ciśnieniu 1-6 bar uzyskano średnio 5-8 cm penetracji preparatu. Pozwala to na stwierdzenie, że w zaprawach wapiennych można wytworzyć warstwę hydrofobową.
- Dodatek cementu do zaprawy wapiennej spowodował zmianę struktury porów a tym samym uniemożliwił wytworzenie większych promieni penetracji porów. Maksymalny promień penetracji wyniósł 3cm. Oznacza to, że w tego typu materiale, przy zalecanych w instrukcjach ciśnieniach roboczych wykonanie hydrofobizacji jest praktycznie niemożliwe.
- Do zapraw trasowych nie udało się wprowadzić preparatu, a co za tym idzie zhydrofobizować ich. Podobny brak efektów odnotowano w przypadku zapraw trasowych modyfikowanych pianą. Pomimo bardzo wysokiej porowatości nie udało się włoczyć wystarczającej ilości preparatu.



Rys. 9.15 Próbką z zaprawy wapiennej po procesie tłoczenia emulsji silikonowej



Rys. 9.16 Próbką z zaprawy wapienno-cementowej po procesie tłoczenia emulsji silikonowej

9.5. CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO – MECHANICZNYCH OPOKI PO HYDROFOBIZACJI

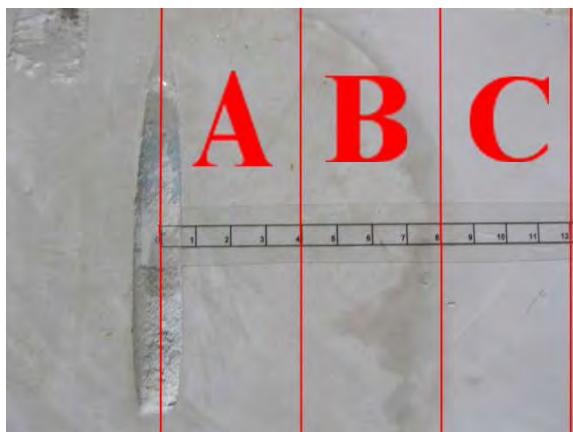
Badania cech fizyko-mechanicznych opoki po hydrofobizacji wykonano po 90 dniach od zakończenia procesu tłoczenia preparatu. W ramach prowadzonych badań wykonano oznaczenia wytrzymałości na ściskanie, nasiąkliwości wodą, kapilarnego podciągania, odporność na zamarzanie, odporność na krystalizację soli. Dodatkowo wykonane zostały badania wpływu hydrofobizacji na zmianę zasolenia próbek solami budowlanymi (siarczany, chlorki, azotany). Z racji obszerności materiału w podrozdziałach zamieszczono wyniki końcowe oznaczeń. Pełne protokoły badawcze znajdują się w Załączniku 5 niniejszej pracy.

Szczegółowe badania cech fizyko-mechanicznych opoki po hydrofobizacji przeprowadzono dla próbek nasączanych emulsją silikonową. Ze względu na brak efektów przy nasączaniu kamieni krzemianem modyfikowanym silikonem oraz niewystarczające efekty przy mikroemulsji silikonowej badania tych próbek ograniczono do pomiaru nasiąkliwości. W badaniach przyjęto założenie, że strefy A i B uległy hydrofobizacji natomiast strefa C, nie została nasączona preparatem. Pozwala to na traktowanie materiału ze strefy C jako opoki nie hydrofobizowanej. Przyjęcie takiego założenia pozwala na porównywanie zmieniających się

właściwości w obrębie tego samego bloku kamiennego, co biorąc pod uwagę ogólną niejednorodność opoki pochodzącej z tego samego złoża jest kluczowe.

9.5.1. Przygotowanie próbek

Materiał do badań pobrano z wcześniej poddanych hydrofobizacji próbek opoki. Na pile stołowej z każdego bloku hydrofobizowanego wycięto próbki ze stref A, B i C o wymiarach 40x40x160mm zgodnie z poniższym rysunkiem. Dodatkowo wycięto próbki sześciennie przeznaczone do badań odporności na krystalizację soli. W sumie do wszystkich typów badań przygotowano 450 próbek po 150 z każdej ze stref.



Rys. 9.17 Opoka. Podział kamienia na strefy pomiarowe



Rys. 9.18 Wycięte i przygotowane do badań próbki strefy C

9.5.2. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej. Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN 1926:2001. Sposób wykonania badania zgodnie z punktem 13.3.1 (Załącznik 3).

Tab. 9.13 Badania wytrzymałości na ściskanie próbek z opoki po hydrofobizacji.

Nr Próbki	Strefa A Wytrzymałość [MPa]	Strefa B Wytrzymałość [MPa]	Strefa C Wytrzymałość [MPa]
1	18,24	18,6	18,42
2	18,1	17,47	17,87
3	19,89	20,11	19,69
4	17,25	18,36	16,95
5	14,69	13,25	14,63
6	12,5	12,9	13,19
7	22,9	20,36	21,55
8	14,85	15,6	15,9
9	17,2	16,95	14,53
10	15,49	16,02	15,32
11	18,25	16,32	17,28
12	17,01	15,39	17,63
13	14,56	11,25	13,92
14	20,1	18,65	18,87
ΔR	17,22	16,52	16,84

Badania wytrzymałości na ściskanie próbek z opoki hydrofobizowanej emulsją silikonową nie wykazały istotnych różnic w stosunku do opoki nie nasączonej. Pomiędzy strefami A i C różnica w średnich wartościach wynosi co prawda 4% na korzyść próbek zhydrofobizowanych, ale już w strefie B średnia wartość jest mniejsza niż dla strefy C.

9.5.3. Oznaczenie nasiąkliwości wodą

Badania nasiąkliwości wodą opoki po procesie hydrofobizacji wykonane zostały dwukrotnie. Pierwsze przeprowadzono po 90 dniach od zakończenia tłoczenia i dotyczyły próbek hydrofobizowanych preparatami I, II, III. Drugie badania przeprowadzono po upływie 18 miesięcy i objęły one próbki nasączone preparatem II (emulsja silikonowa). Celem badań w drugim etapie było określenie wpływu czasu na zachowanie efektu hydrofobizacji.

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN 13755, sposób wykonania badania zgodnie z punktem 13.3.4 (Załącznik 3).

Tab. 9.14 Badania nasiąkliwości próbek z opoki zhydrofobizowanych preparatem I

Nr próbki	Strefa A Nasiąkliwość [%]	Strefa B Nasiąkliwość [%]	Strefa C Nasiąkliwość [%]
I 1	17,84	24,83	23,8
I 2	23,25	24,83	26,60
I 3	19,96	25,88	23,93
I 4	20,00	24,86	27,29
I 5	18,58	19,56	20,49
I 6	19,05	20,38	20,59
I 7	20,76	21,35	22,40
I 8	21,51	20,05	22,36
I 9	21,26	23,45	26,11
I 10	21,98	23,65	25,12
ΔA_b	20,41	22,88	23,86

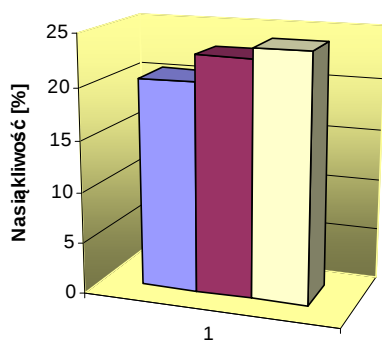
Tab. 9.15 Badania nasiąkliwości próbek z opoki zhydrofobizowanych preparatem II

Nr próbki	Strefa A Nasiąkliwość [%]	Strefa B Nasiąkliwość [%]	Strefa C Nasiąkliwość [%]
II 1	9,71	23,57	22,11
II 2	8,27	8,27	28,26
II 3	7,29	11,2	25,26
II 4	4,24	4,12	17,78
II 5	3,46	7,4	6,32
II 6	7,18	25,25	27,32
II 7	9,53	21,09	24,13
II 8	11,87	22,44	23,60
II 9	7,04	19,33	23,83
II 10	8,64	20,84	24,30
ΔA_b	7,72	16,35	22,29

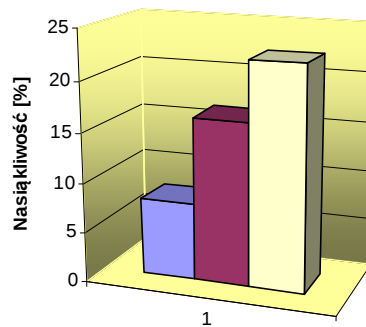
Tab. 9.16 Badania nasiąkliwości próbek z opoki zhydrofobizowanych preparatem III

Nr próbki	Strefa A Nasiąkliwość [%]	Strefa B Nasiąkliwość [%]	Strefa C Nasiąkliwość [%]
III 1	17,84	24,83	23,8
III 2	23,25	24,83	26,60
III 3	19,96	25,88	23,93
III 4	20,00	24,86	27,29
III 5	18,58	19,56	20,49
III 6	19,05	20,38	20,59
III 7	20,76	21,35	22,40
III 8	21,51	20,05	22,36
III 9	21,26	23,45	26,11
III 10	21,98	23,65	25,12
ΔA_b	20,41	22,88	23,86

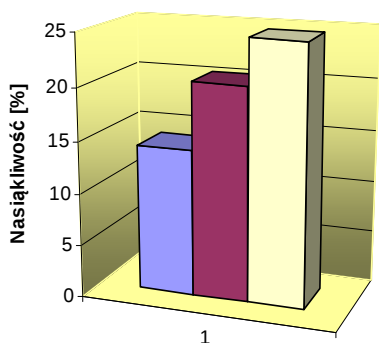
Zależności nasiąkliwości materiału od odległości od otworu, którym tłoczony był preparat przedstawiono na poniższych rysunkach.



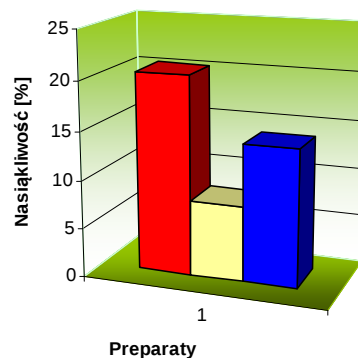
Rys. 9.19 Wykres zależności nasiąkliwości od odległości materiału od otworu iniekcyjnego dla preparatu I. Odpowiednio kolor niebieski strefa A, fioletowy strefa B, biały C



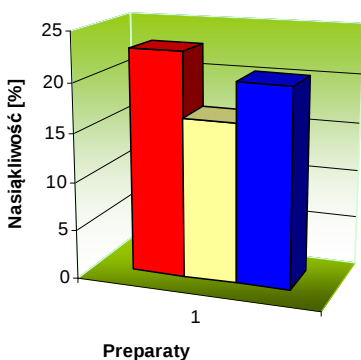
Rys. 9.20 Wykres zależności nasiąkliwości od odległości materiału od otworu iniekcyjnego dla preparatu II. Odpowiednio kolor niebieski strefa A, fioletowy strefa B, biały C



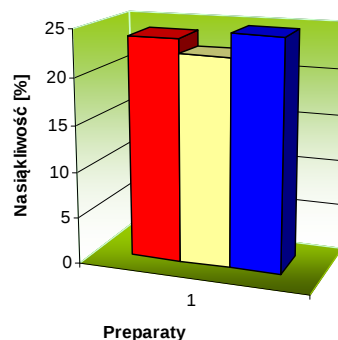
Rys. 9.21 Wykres zależności nasiąkliwości od odległości materiału od otworu iniekcyjnego dla preparatu III. Odpowiednio kolor niebieski strefa A, fioletowy strefa B, biały C



Rys. 9.22 Wykres nasiąkliwości w strefie A w zależności od zastosowanego preparatu. Odpowiednio kolor czerwony preparat I, żółty II i niebieski III



Rys. 9.23 Wykres nasiąkliwości w strefie B w zależności od zastosowanego preparatu. Odpowiednio kolor czerwony preparat I, żółty II i niebieski III



Rys. 9.24 Rys. 9.25 Wykres nasiąkliwości w strefie C w zależności od zastosowanego preparatu. Odpowiednio kolor czerwony preparat I, żółty II i niebieski III

Po zakończeniu badań, próbki opoki hydrofobizowanej emulsją silikonową pozostawiono w warunkach laboratoryjnych na okres 18 miesięcy.

Tab. 9.17 Badania nasiąkliwości próbek z opoki zhydrofobizowanych preparatem II

Nr próbki	Strefa A Nasiąkliwość [%]	Strefa B Nasiąkliwość [%]	Strefa C Nasiąkliwość [%]
II 1	9,51	23,14	22,09
II 2	7,79	8,2	28,24
II 3	7,11	11,12	25,29
II 4	4,14	3,96	17,88
II 5	3,23	6,98	6,42
II 6	7,19	25,02	27,46
II 7	9,49	20,98	24,03
II 8	11,12	22,23	23,36
II 9	6,69	19,23	23,53
II 10	8,65	20,69	24,39
ΔA_b	7,49	16,16	22,27

Z zakończonych badań nasiąkliwości próbek z opoki hydrofobizowanych preparatami I, II i III oraz powtórnych (po 18 miesiącach) opoki hydrofobizowanej preparatem II wynika:

- Brak istotnych różnic w nasiąkliwości pomiędzy strefami A, B i C próbek opoki hydrofobizowanych preparatem I (krzemian modyfikowany silikonem).
- Zmniejszenie nasiąkliwości w strefie A średnio o 70 % i strefie B o blisko 35% w stosunku do nasiąkliwości materiału w strefie C próbek opoki hydrofobizowanych preparatem II (emulsja silikonowa).
- Zmniejszenie nasiąkliwości w strefie A średnio o blisko 60 % i strefie B o około 15% w stosunku do nasiąkliwości materiału w strefie C próbek opoki hydrofobizowanych preparatem III (mikroemulsja silikonowa).
- Sezonowanie zhydrofobizowanych próbek przez 18 miesięcy nie przyniosło większych zmian w uzyskiwanej nasiąkliwości. W przypadku stref A i B nastąpił minimalny spadek nasiąkliwości odpowiednio o 0,23% i 0,19%. W przypadku strefy niehydrofobizowanej różnica była na poziomie 0,2%.

9.5.4. Oznaczenie kapilarnego podciągania

Oznaczenie kapilarnego podciągania opoki po procesie hydrofobizacji wykonane zostało po 120 dniach od zakończenia tłoczenia i dotyczyło próbek hydrofobizowanych preparatem II. Ze względu na bardzo złe i niezadawalające efekty w przypadku preparatów I i III (potwierdzone wcześniejszymi oznaczeniami) odstąpiono od ich dalszych badań.

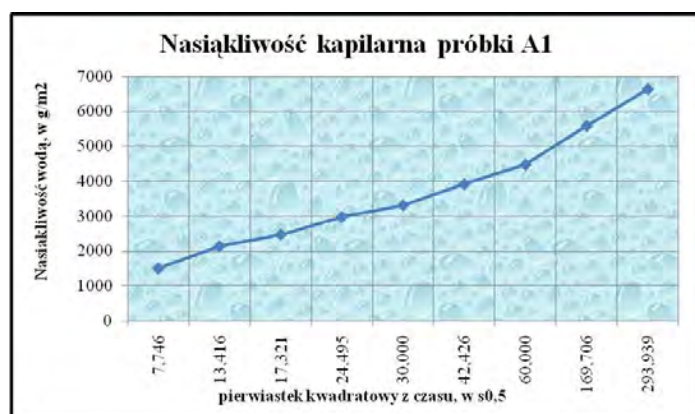
Badanie zostało przeprowadzone w Laboratorium Wydziału Budownictwa i Architektury PL zgodnie z normą: PN-EN 1925 : Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczenie współczynnika nasiąkliwości kapilarnej. Do badań przeznaczono po 16 próbek z każdej strefy hydrofobizowanych kamieni. Ze względu na obszerność materiału poniżej zamieszczone zostały wyniki końcowe badań oraz przykład opracowania graficznego wyników. Opisy szczegółowe badań znajdują się w Załączniku 4.

Próbka A1

Tab. 9.18 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A1.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C_1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
337,78	340,08	2,300	0,001528	7,746	194,325	1505,236	7,746
337,78	341,05	3,270	0,001528	13,416	159,510	2140,052	13,416
337,78	341,56	3,780	0,001528	17,321	142,826	2473,822	17,321
337,78	342,33	4,550	0,001528	24,495	121,566	2977,749	24,495
337,78	342,84	5,060	0,001528	30,000	110,384	3311,518	30,000
337,78	343,76	5,980	0,001528	42,426	92,245	3913,613	42,426
337,78	344,62	6,840	0,001528	60,000	74,607	4476,440	60,000
337,78	346,31	8,530	0,001528	169,706	32,895	5582,461	169,706
337,78	347,92	10,140	0,001528	293,939	22,577	6636,126	293,939

m_i - kolejne masy próbki do badania, w gramach, m_d - masa suchej próbki do badania, w gramach, A - powierzchnia zanurzona w wodzie, w metrach kwadratowych, t_i - czas, który upłynął od początku badania do momentu, w którym wykonano pomiar kolejnej masy próbki m_i w sekundach, C_1 - współczynnik nasiąkliwości kapilarnej wodą, zmierzony w kierunku prostopadłym do płaszczyzny anizotropii kamienia, w gramach na m² i na s^{0,5}, C_2 - współczynnik nasiąkliwości kapilarnej wodą, zmierzony w kierunku równoległym do płaszczyzny anizotropii kamienia, w gramach na m² i na s^{0,5} Y - nasiąkliwość wodą w g/m² X - pierwiastek kwadratowy z czasu w s^{0,5}



Rys. 9.26 Wykres dla kapilarnego podciągania opoki (A1 – próbki, które uległy hydrofobizacji).



Rys. 9.27 Badanie kapilarnego podciągania opoki strefa A po godzinie badania.



Rys. 9.28 Badanie kapilarnego podciągania opoki strefa B po godzinie badania.



Rys. 9.29 Badanie kapilarnego podciągania opoki strefa C po godzinie badania.

Tab. 9.19 Porównanie wyników średniej wartości arytmetycznej współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbek z opoki hydrofobizowanych emulsją silikonową.

Strefa	Liczba próbek	ΔC [$\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$]
A	16	18,290
B	16	86,820
C	8	111,408

Z zakończonych badań kapilarnego pociągania próbek opoki hydrofobizowanej emulsją silikonową (preparat II) wynika:

- Zastosowany preparat w próbkach strefy A zatrzymał podciąganie kapilarne i osiągnięty został bardzo niski współczynnik C.
- W próbkach strefy B wartość współczynnika C była 4 krotnie większa niż w strefie A. Niezadawalający efekt związany jest z jedynie częściową hydrofobizacją próbek. Podciąganie kapilarne odbywało się częściowo nie zabezpieczoną preparatem.
- W przypadku próbek strefy C (próbki nie zhydrofobizowane) uzyskano największą wartość współczynnika C.

9.5.5. Odporność na zamarzanie

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą: PN-EN 12371 : Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczenie mrozoodporności.[180] Badania wykonano na 24 próbkach, po 8 z każdej strefy (A, B, C), po 180 dniach od wykonanej hydrofobizacji.

Ze względu na obszerność materiału szczegółowy opis przebiegu badania, kompletną dokumentację fotograficzną oraz wyniki tabelaryczne zamieszczono w Załączniku 5. W punkcie niniejszym przedstawiono wyniki końcowe po 56 cyklach zamarzania.

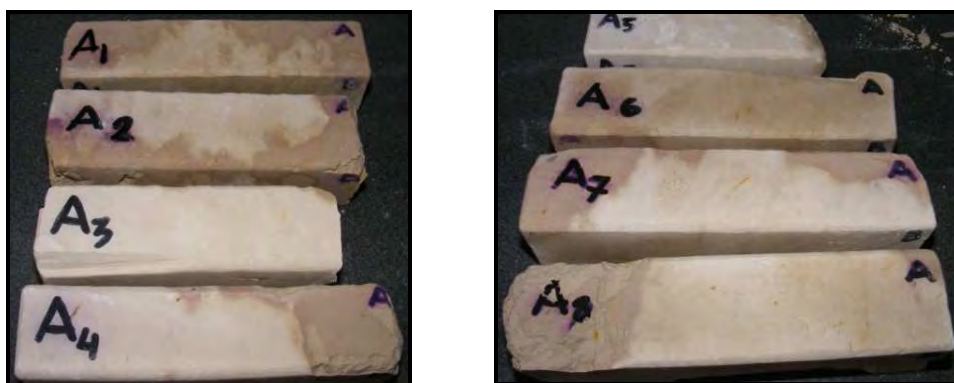
Przy ocenie wizualnej stosujemy następującą skalę :

- 0 – próbka do badań nienaruszona
- 1 – bardzo małe zniszczenia, nie powodują dezintegracji próbki
- 2 – jedno lub kilka małych pęknięć, oddzielenie małych fragmentów $\leq 10\text{mm}^2$
- 3 – jedno lub kilka pęknięć, oddzielenie fragmentów $\geq 10\text{mm}^2$
- 4 – próbka do badania przełamana na dwie części lub ze znacznymi pęknięciami
- 5 – próbka do badań w kawałkach

Osiągnięcie punktu 3 skali powodują zaklasyfikowanie próbki jako zniszczonej.

Tab. 9.20 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy A po 56 cyklach. .

Nr próbki	M _{so} [g]	M _{ho} [g]	V _{bo} =(M _{so} -M _{ho}) [ml]	M _{sn} [g]	M _{hn} [g]	V _{bn} =(M _{sn} -M _{hn}) [ml]	ΔVb [%]
A1	388,12	135,37	252,75	380,08	132,74	247,34	2,14
A2	443,24	155,8	287,44	416,14	146,22	269,92	6,10
A3	389,46	130,08	259,38	379,03	128,05	248,28	4,4
A4	382,69	132,93	249,76	379,45	132,07	247,38	0,95
A5	382,84	127,75	205,09	310,94	109,13	200,98	2,00
A6	376,71	134,56	242,15	372,62	133,60	239,02	1,29
A7	406,31	140,7	265,61	405,36	140,86	264,50	0,42
A8	437,01	155,83	281,18	424,01	152,61	271,40	3,48

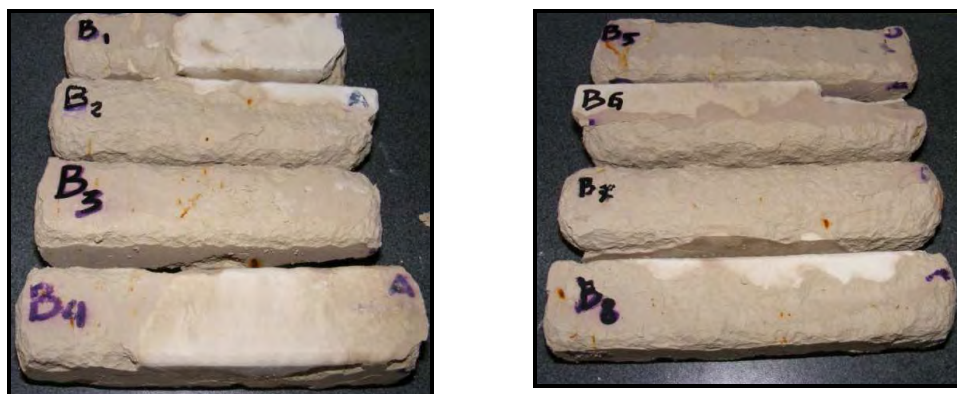


Rys. 9.30 Próbki A. Fotografia wykonana po 56 cyklu rozmrażania próbek z opoki.

Tab. 9.21 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy B po 56 cyklach.

Nr próbki	M _{so} [g]	M _{ho} [g]	V _{bo} =(M _{so} -M _{ho}) [ml]	M _{sn} [g]	M _{hn} [g]	V _{bn} =(M _{sn} -M _{hn}) [ml]	ΔVb [%]
B1	417,07	173,83	243,24	345,23	142,46	202,77	16,64
B2	437,83	185,14	252,69	400,25	169,01	231,24	8,49
B3	446,5	195,28	251,22	382,90	165,22	217,68	13,35
B4	478,18	203,28	274,90	452,19	190,32	261,87	4,74
B5	442,03	191,85	250,18	393,45	171,45	222,00	11,26
B6	470,6	199,41	271,19	440,33	182,40	257,93	4,89
B7	454,24	194,99	259,25	420,57	179,42	241,15	6,98
B8	409,26	174,91	234,35	395,11	168,41	226,70	3,26

Uwagi : Wszystkie próbki zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości.



Rys. 9.31 Próbki B. Fotografia wykonana po 56 cyklu rozmrażania próbek z opoki..

Tab. 9.22 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy C po 56 cyklach.

Nr próbki	M_{so} [g]	M_{ho} [g]	$V_{bo}=(M_{so}-M_{ho})$ [ml]	M_{sn} [g]	M_{hn} [g]	$V_{bn}=(M_{sn}-M_{hn})$ [ml]	ΔVb [%]
C1	449,17	194,63	254,54	411,47	177,23	234,24	7,98
C2	424,38	182,51	241,87	364,21	156,58	207,63	14,16
C3	453,51	196,39	257,12	421,87	182,68	239,19	6,97
C4	428,95	187,96	240,99	411,96	180,51	231,45	3,96
C5	488,65	212,94	275,71	462,21	199,74	262,47	4,80
C6	455,30	198,65	256,65	432,37	187,22	245,15	4,48
C7	490,28	213,51	276,77	464,14	202,20	261,94	5,36
C8	406,49	176,62	229,87	388,89	168,96	219,93	4,32

Uwagi : Wszystkie próbki zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości.



Rys. 9.32 Próbki C. Fotografia wykonana po 56 cyklu rozmrażania próbek z opoki.

Na podstawie uzyskanych wyników badań i obserwacji stwierdzono :

- Po 56 cyklach zamrażania na próbkach strefy A dwie uznano za nieuszkodzone w pozostałych spadek masy był na poziomie około 4%.
- Pomiar objętości wykazał iż próbki B i C uznano za uszkodzone już po 28 cyklu (osiągnęły ubytek objętości większy niż 1 %)
- Próbki B nie wykazały zniszczeń jedynie w części nasączonej preparatem.
- Emulsja silikonowa nie pogorszyła właściwości mrozoodpornych opoki, a wręcz przeciwnie zabezpieczył ją przed destrukcyjnym działaniem niskich temperatur.

9.5.6. Odporność na krystalizację soli

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą: PN-EN 12370 : Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczenie odporności na krystalizację soli. [179] Badania wykonano po 180 dniach od wykonanej hydrofobizacji.

Badanie normowe dotyczy obciążania próbek roztworem soli siarczanowych Na_2SO_4 (siarczan sodu). Autor pracy zdecydował o przeprowadzeniu badań w szerszym zakresie, badając odporność na krystalizację soli chlorkowych i azotanowych.

Próbki sześciennie o boku (40mm) powinny być wycięte piłą diamentową, a jedna z powierzchni powinna być oszlifowana, cały luźny materiał powinien być zmyty z powierzchni próbki pod bieżącą wodą. Próbki do badania należy wysuszyć do stałej masy w suszarce w temp. 105 ° C. Próbki należy trwale oznakować i zważyć z dokładnością do 0,01g.

Badanie składa się z 15 cykli, na jeden cykl składa się 2 godzinne nasiąkanie w roztworze soli i co najmniej 16 godzinne suszenie w suszarce w temp. 105 ° C .

- Wysuszone próbki należy umieścić w pojemniku i pokryć 14 % roztworem soli do głębokości 10mm nad powierzchnią próbki. Minimalna odległość między próbkami ma wynosić 10mm , a brzegami pojemnika 20mm. Próbki należy nasączać przez 2 godziny (temp. 20 ° C) pod przykryciem, aby uniknąć parowania.
- Po nasączeniu próbki umieścić w suszarce na co najmniej 16 godzin w temp. 105 ° C. W początkowym etapie suszenia, aby uzyskać dużą wilgotność względną należy (jeszcze przed włożeniem próbek) umieścić w zimnej suszarce kuwety z wodą i włączenie ogrzewania na 30 minut.

- Po każdym z 15 cykli próbki przechowuje się w wodzie o temp. 23 ° C przez 24 godziny, następnie suszy do stałej masy i waży. [179]

Wyniki należy przedstawić stosując wzór:

$$\Delta M = \frac{M_1 - M_{d1}}{M_d} \times 100 \quad (9.1)$$

Gdzie:

M_d – masa suchej próbki do badania [g],

M_{d1} - masa wysuszonej i oznakowanej próbki do badania przed pierwszym cyklem [g],

M_1 – masa wysuszonej i oznakowanej próbki do badania po 15 cyklach [g],

ΔM - względna różnica mas przed i po badaniu (strata lub przyrost masy) [%].[179]

W przypadku gdy próbka uległa zniszczeniu lub pękła w czasie badania, należy podać całkowitą liczbę cykli.

Siarczan sodu

Stężenie soli (Na_2SO_4) : 14% stosunek wagowy

Tab. 9.23 Różnica mas próbek A po przeprowadzonych cyklach zasolenia siarczanem sodu (Na_2SO_4).

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki po 15 cyklach [g]	Różnica mas [g]	Różnica mas [%]
A1	81,965	81,889	-0,076	-0,1
A2	82,026	81,972	-0,054	-0,1
A3	76,27	75,859	-0,411	-0,5
A4	75,906	75,857	-0,049	-0,1
A5	76,238	75,123	-1,115	-1,5
A6	93,816	93,434	-0,382	-0,4

Uwagi : na próbkach zabezpieczonych preparatem brak uszkodzeń, zanotowano nieznaczny ubytek masy.

Tab. 9.24 Różnica mas próbek B po przeprowadzonych cyklach zasolenia siarczanem sodu (Na_2SO_4).

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki po 15 cyklach [g]	Różnica mas [g]	Różnica mas [%]
B1	86,615	32,84	-53,775	-62,1
B2	77,374	zniszczona po 4 cyklu	-	-
B3	94,332	zniszczona po 4 cyklu	-	-
B4	96,415	zniszczona po 3 cyklu	-	-
B5	83,59	zniszczona po 3 cyklu	-	-
B6	90,653	38,445	-52,208	-57,6

Uwagi : na próbkach widoczne zniszczenia na styku zabezpieczonej powierzchni z niezabezpieczoną.

Tab. 9.25 Różnica mas próbek C po przeprowadzonych cyklach zasolenia siarczanem sodu (Na_2SO_4).

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki po 15 cyklach [g]	Różnica mas [g]	Różnica mas [%]
C1	84,244	zniszczona po 13 cyklu	-	-
C2	84,863	zniszczona po 13 cyklu	-	-
C3	86,313	zniszczona po 4 cyklu	-	-
C4	88,454	zniszczona po 10 cyklu	-	-
C5	88,491	zniszczona po 13 cyklu	-	-
C6	87,907	zniszczona po 13 cyklu	-	-

Uwagi : próbki poddane roztworowi soli zostały całkowicie zniszczone, ich objętość z każdym cyklem malała, aż uzyskały postać pyłu, na koniec badania nie można było zanotować ich masy.



9.33 Początkowy stan próbek strefy A przed zasoleniem siarczanem sodu



9.34 Próbki strefy A po 15 cyklach zasolenia w roztworze 14 % siarczanu sodu.



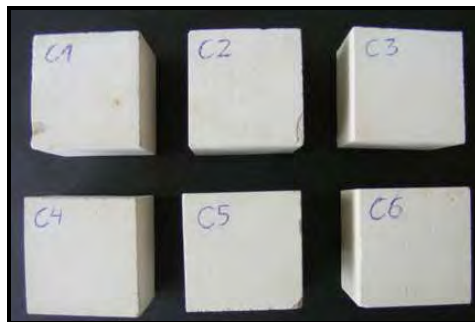
9.35 Początkowy stan próbek strefy B przed zasoleniem siarczanem sodu



9.36 Próbki strefy B po 2 cyklu zasolenia w roztworze 14 % siarczanu sodu



9.37 Próbkki strefy B po 15 cyklu zasolenia w roztworze 14 % siarczanu sodu



9.38 Początkowy stan próbek strefy C przed zasoleniem siarczanem sodu



9.39 Próbkki strefy C po 2 cyklu zasolenia w roztworze 14 % siarczanu sodu



9.40 Próbkki strefy C po 10 cyklu zasolenia w roztworze 14 % siarczanu sodu

Chlorek sodu

Stężenie soli (NaCl): 14% stosunek wagowy

Tab. 9.26 Różnica mas próbek A po przeprowadzonych cyklach zasolenia chlorkiem sodu (NaCl).

Nr próbki	Masa próbki sucha [g]	Masa próbki po 15cyklach [g]	Różnica mas [g]	Różnica mas [%]
A1	90,394	90,674	0,280	0,310
A2	85,316	85,661	0,345	0,404
A3	75,112	75,293	0,181	0,241

Uwagi : Przebieg badania jest zgodny z normą, zamiast soli normowej zastosowano chlorek sodu. Brak widocznych uszkodzeń, nieznaczny przyrost masy.

Tab. 9.27 Różnica mas próbek B po przeprowadzonych cyklach zasolenia (NaCl).

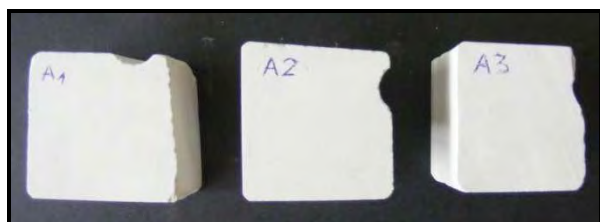
Nr próbki	Masa próbki sucha [g]	Masa próbki po 15 cyklach [g]	Różnica mas [g]	Różnica mas [%]
B1	91,183	zniszczona 10 cykl	-	zniszczona 10 cykl
B2	74,663	zniszczona 13 cykl	-	zniszczona 13 cykl
B3	77,432	zniszczona 8 cykl	-	zniszczona 8 cykl

Uwagi : Przebieg badania jest zgodny z normą, zamiast soli normowej zastosowano chlorek sodu. Na próbkach widoczne zniszczenia na styku zabezpieczonej powierzchni z niezabezpieczoną, oddzielenie i zniszczenie niezabezpieczonej części.

Tab. 9.28 Różnica mas próbek C po przeprowadzonych cyklach zasolenia (NaCl).

Nr próbki	Masa próbki sucha [g]	Masa próbki po 15 cyklach [g]	Różnica mas [g]	Różnica mas [%]
C1	88,749	89,980	1,231	1,387
C2	87,125	87,639	0,514	0,590
C3	87,758	88,859	1,101	1,255

Uwagi : Przebieg badania jest zgodny z normą, zamiast soli normowej zastosowano chlorek sodu. Brak widocznych uszkodzeń, na powierzchni próbki osadza się sól co przyczyniło się do wzrostu masy próbki po 15 cyklu badania.



9.41 Początkowy stan próbek strefy A przed zasoleniem chlorkiem sodu



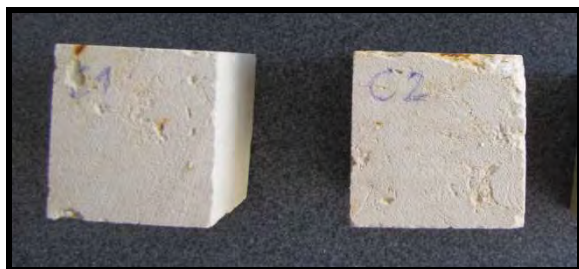
9.42 Próbki strefy A po 15 cyklach zasolenia w roztworze 14 % chlorku sodu.



9.43 Próbki strefy B po 8 cyklu zasolenia w roztworze 14 % chlorku sodu.



9.44 Próbki strefy B po 10 cyklu zasolenia w roztworze 14 % chlorku sodu



9.45 Próbkki strefy C po 8 cyklu zasolenia w roztworze 14 % chlorku sodu.



9.46 Próbkki strefy C po 15 cyklu zasolenia w roztworze 14 % chlorku sodu.

Azotan sodu

Stężenie soli (NaNO_3): 14% stosunek wagowy

Tab. 9.29 Różnica mas próbek A po przeprowadzonych cyklach zasolenia azotanem sodu (NaNO_3).

Nr próbki	Masa próbki sucha [g]	Masa próbki po 15 cyklach [g]	Różnica mas [g]	Różnica mas [%]
A1	79,244	79,523	0,279	0,352
A2	90,920	91,260	0,340	0,374
A3	83,129	83,470	0,341	0,410

Uwagi : Przebieg badania jest zgodny z normą, zamiast soli normowej zastosowano azotan sodu. Brak widocznych uszkodzeń, nieznaczny przyrost masy spowodowany powierzchniowym osadzaniem się soli.

Tab. 9.30 Różnica mas próbek B po przeprowadzonych cyklach zasolenia azotanem sodu (NaNO_3).

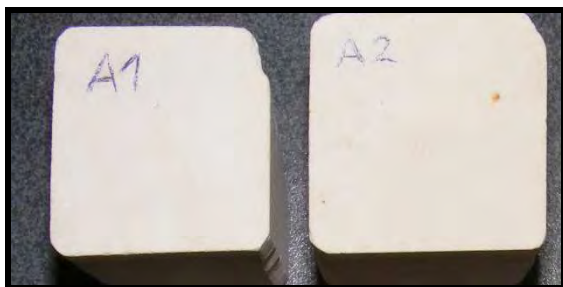
Nr próbki	Masa próbki sucha [g]	Masa próbki po 15 cyklach [g]	Różnica mas [g]	Różnica mas [%]
B1	86,658	zniszczona 10 cykl	-	-
B2	86,621	zniszczona 9 cykl	-	-
B3	73,462	zniszczona 12 cykl	-	-

Uwagi : Przebieg badania jest zgodny z normą, zamiast soli normowej zastosowano azotan sodu. Przełamanie próbki w miejscu styku powierzchni zabezpieczonej preparatem z niezabezpieczoną, destrukcja części próbki.

Tab. 9.31 Różnica mas próbek C po przeprowadzonych cyklach zasolenia azotanem sodu (NaNO_3).

Nr próbki	Masa próbki sucha [g]	Masa próbki po 15 cyklach [g]	Różnica mas [g]	Różnica mas [%]
A1	81,965	81,889	-0,076	-0,1
A2	82,026	81,972	-0,054	-0,1
A3	76,27	75,859	-0,411	-0,5

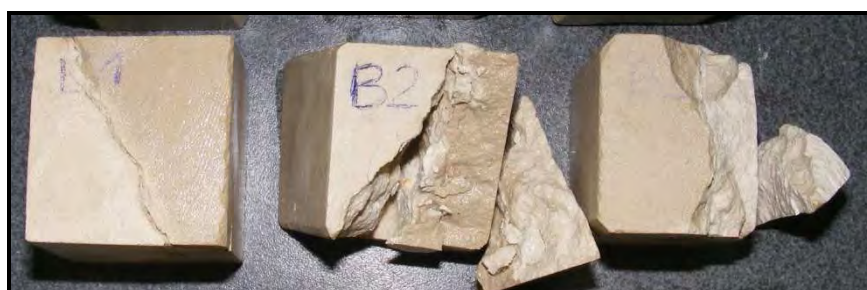
Uwagi : Przebieg badania jest zgodny z normą, zamiast soli normowej zastosowano azotan sodu.



9.47 Próbki strefy A po 15 cyklach zasolenia w roztworze 14 % azotanem sodu.



9.48 Próbki strefy C po 15 cyklach zasolenia w roztworze 14 % azotanem sodu.



9.49 Próbki strefy B po 9 cyklach zasolenia w roztworze 14 % azotanem sodu.

Podsumowanie badania :

- Próbki strefy A bez względu na zastosowaną sól po 15 cyklach pozostały nieuszkodzone.
- Charakter zniszczeń próbek strefy B dla każdej z soli miał identyczny przebieg. W pierwszych cyklach pojawiały się pęknięcia na styku materiału hydrofobizowanego i nie hydrofobizowanego, a następnie dochodziło do rozwarstwiania się skały i destrukcji materiału niezabezpieczonego (przy badaniach Na_2SO_4).
- Próbki strefy C okazały się całkowicie nieodporne na działanie Na_2SO_4 , uległy całkowitej degradacji, nie dotrwały do końca cykli. W pozostałych badaniach nie stwierdzono uszkodzeń materiału.
- Zastosowany preparat zabezpieczył próbki przed destrukcyjnym działaniem soli

9.5.7. Badanie zasolenia

Badanie obciążenia solami budowlanymi próbek po hydrofobizacji wykonano przy użyciu gotowych testów firmy MERCK. [213][214][215] Miało ono na celu stwierdzenie, czy zastosowany preparat nie wpłynie na wzrost zasolenia materiału. Oznaczenia wykonano dla siarczanów, chlorków i azotanów.

Ze względu na obszerność materiału szczegółowy opis przebiegu badania, dokumentację fotograficzną oraz wyniki tabelaryczne zamieszczono w Załączniku 5. W punkcie niniejszym przedstawiono wyniki końcowe oznaczeń.

Tab. 9.32 Ocena stopnia zasolenia na podstawie stężenia soli. [50]

[%]	niskie	średnie	wysokie
chlorki	< 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
azotany	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3
siarczany	< 0,5	0,5 – 1,5	> 1,5

Tab. 9.33 Wyniki badania zawartości soli budowlanych na próbkach opoki poddanej procesowi hydrofobizacji emulsją silikonową (Preparat II).

Rodzaj próbki	Zawartość chlorków [%]	Zawartość siarczanów [%]	Zawartość azotanów [%]
A1	0,04	0,15	0,01
A2	0,05	0,2	0,01
B1	0,04	0,34	0,01
B2	0,04	0,1	0,03
C1	0,06	0,25	0,02
C2	0,05	0,34	0,02

W badanych próbkach opoki nie stwierdzono podwyższonych ilości soli budowlanych. Zawartości chlorków, siarczanów i azotanów w materiale stref A i B są porównywalne do wartości uzyskanych w strefie C (materiał nie nasączany emulsją silikonową).

9.6. BADANIA STRUKTURY OPOKI PO HYDROFOBIZACJI

W rozdziale niniejszym zamieszczono wyniki badań struktury opoki po hydrofobizacji emulsją silikonową (preparat II). Badania wykonano metodą sorpcji par azotu oraz przy użyciu Skaningowej Mikroskopii Elektronowej SEM. Badania wykonano po upływie 180 dni od nasączenia próbek. Oznaczenia wykonano w Laboratorium Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej.

9.6.1. Metoda sorpcji par azotu – badanie tekstury

Charakterystyka parametrów tekstury badanych opok została przeprowadzona za pomocą niskotemperaturowej izotermy adsorpcji i desorpcji azotu w temperaturze ciekłego azotu 77° K na aparacie ASAP 2020 firmy Micromeritics.

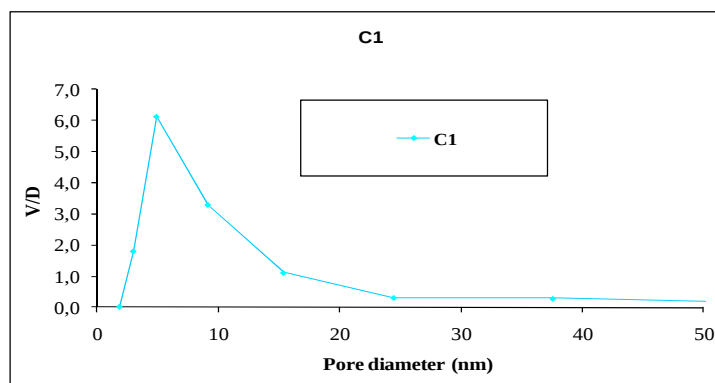
Próbki przed analizą były odgazowywane pod niskim ciśnieniem w temperaturze 250°C przez 6 godzin. Dzięki takiemu przygotowaniu możliwy był pomiar ciśnienia względnego z dokładnością do 0,00001 mmHg, oraz ilości zaadsorbowanego gazu na powierzchni.

Z zależności tych dwóch wartości zostały określone izotermy adsorpcji i desorpcji, będące podstawą do dalszych obliczeń właściwości powierzchniowych badanych skał.

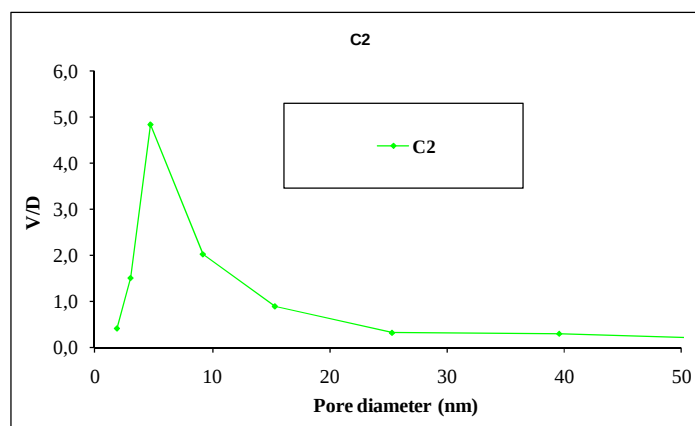
Otrzymane dane adsorpcyjne zostały użyte do określenia powierzchni właściwej wyznaczonej metodą BET, S_{BET} , z wykorzystaniem niskotemperaturowej izotermy azotu (77°K – 78°K) i całkowitej pojemności porów, V_t , przy ciśnieniu względnym $p/p_0=0,98$.

W celu scharakteryzowania wielkości porów, wykorzystano metodę Barreta, Joynera i Halendy (BJH). Służy ona do obliczenia funkcji rozkładu porów względem ich promienia tzw. *Pore Size Distribution* (PSD)

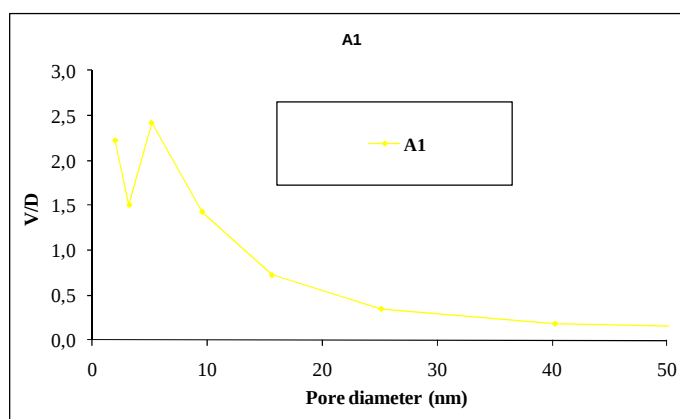
Wyniki badań opoki hydrofobizowanej emulsją silikonową (Preparat II)



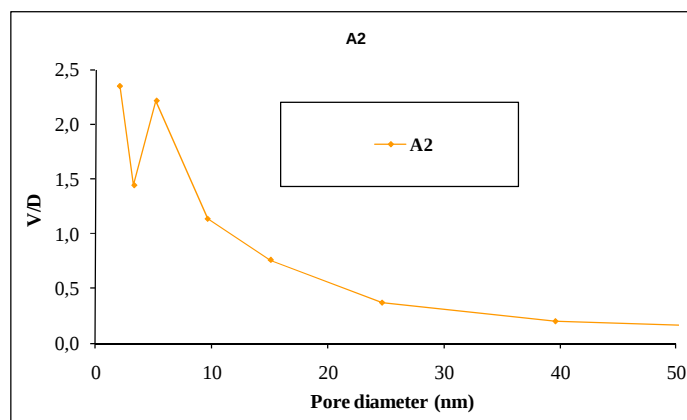
Rys. 9.50 Wykres ilustrujący strukturę i objętość porów opoki przed hydrofobizacją. Próbką C1



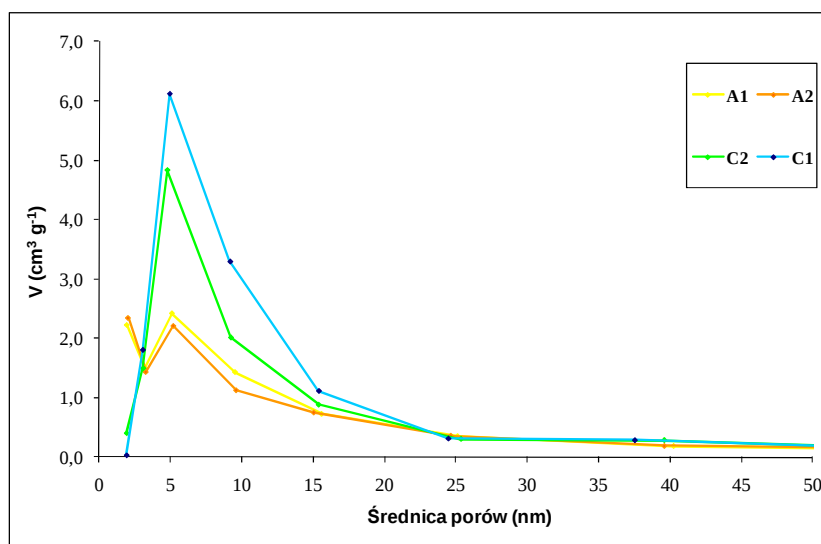
Rys. 9.51 Rys. Wykres ilustrujący strukturę i objętość porów opoki przed hydrofobizacją. Próbką C2



Rys. 9.52 Wykres ilustrujący strukturę i objętość porów opoki po hydrofobizacji. Próbką A1



Rys. 9.53 Wykres ilustrujący strukturę i objętość porów opoki po hydrofobizacji. Próbka A2

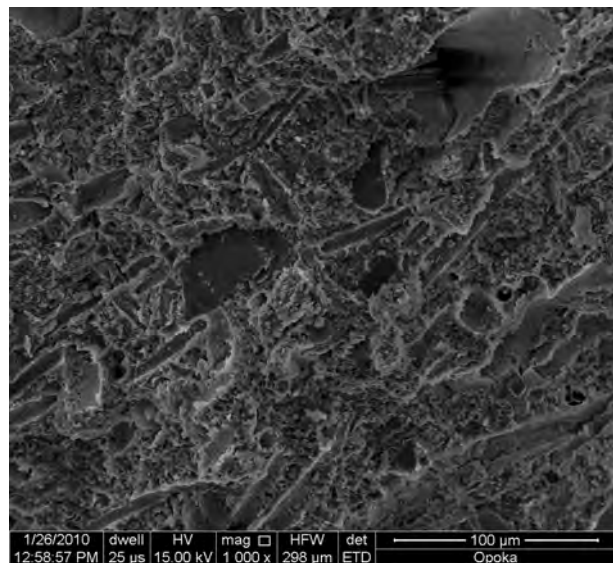


Rys. 9.54 Zbiorczy wykres opoki przed i po hydrofobizacją

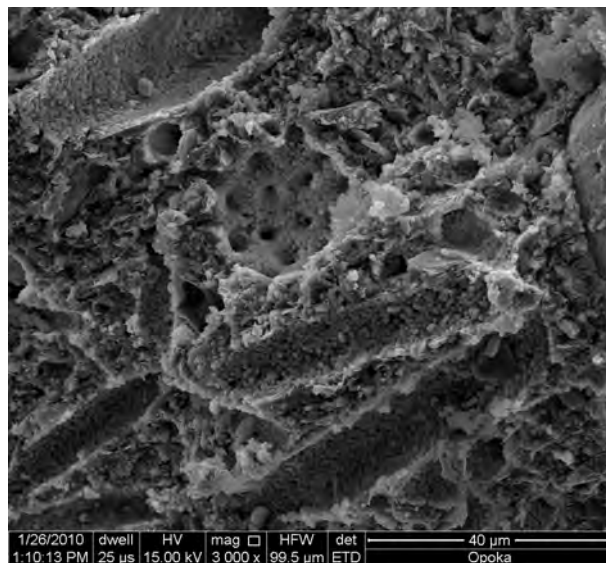
Wraz z efektem hydrofobizacji wyraźnie zmienia się rozkład struktury porów. Opoka staje się mniej porowata co objawia się zmianą wartości objętości porów. Dla próbek naturalnych mieści się w granicach 5-6 cm³/g, a dla próbek hydrofobizowanych wartość objętości porów zmniejsza się do ok. 2 cm³/g. Zmiana objętości porów znajduje odzwierciedlenie również w ich wielkości. Pory próbek naturalnych o średnicach 6,5 nm zostają „zasklepione” do rzędu 4,8 nm, zaś pory o promieniu 14 nm zmniejszają się do 8,5 nm – czyli wyraźnie środek hydrofobizujący „uszczelnia” porowatą strukturę opoki.

9.6.2. SEM (Skaningowa Mikroskopia Elektronowa) – zmiana struktury po hydrofobizacji

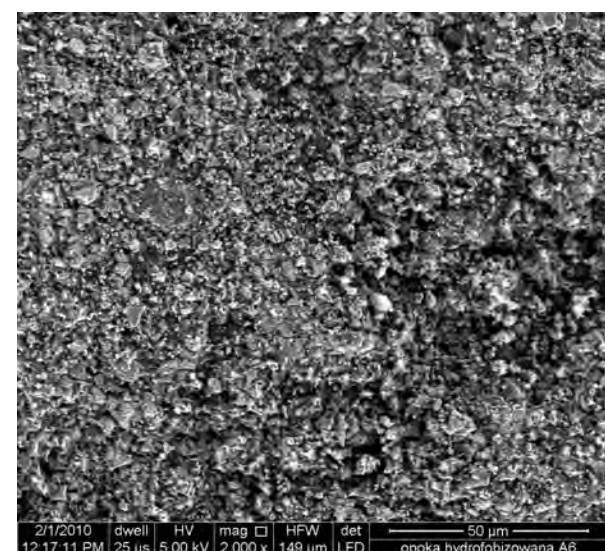
Badania opoki metodą SEM wykonano w Laboratorium Wydziału Budownictwa i Architektury PL przy użyciu aparatu QUANTA 250. Badaniom poddano próbki opoki hydrofobizowane emulsją silikonową oraz materiał niezabezpieczony



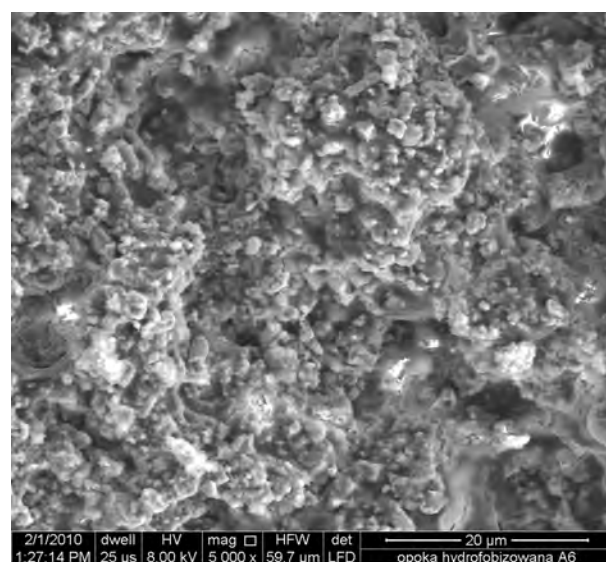
Rys. 9.55 Obraz SEM opoki przed hydrofobizacją



Rys. 9.56 Obraz SEM opoki przed hydrofobizacją



Rys. 9.57 Obraz SEM opoki po hydrofobizacją



Rys. 9.58 Obraz SEM opoki po hydrofobizacją

Proces hydrofobizacji zaciera w sposób znaczący pierwotną bardzo porowatą strukturę skały. Powierzchnię zabezpieczoną charakteryzują ziarniste agregaty emulsji silikonowej. Rozkład tych agregatów jest w znaczącej części regularny. Miejscowo widoczne są skupiska o charakterze pól skrytokrystalicznych.

9.6.1. Wnioski dotyczące badań opoki po hydrofobizacji

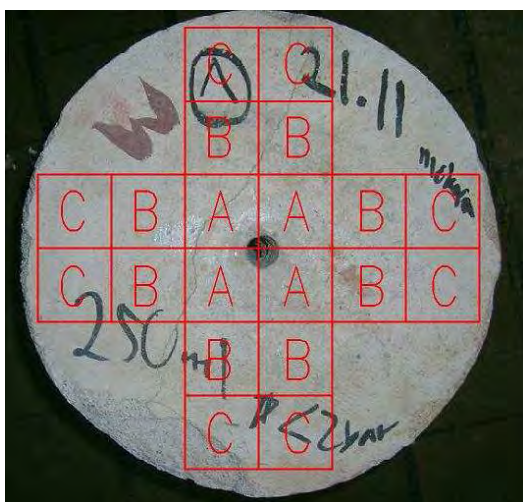
- Opoka jest materiałem, w którym możliwe jest wykonywanie hydrofobizacji wgłębnej
- Pomimo identycznego sposobu przygotowania próbek i prowadzenia hydrofobizacji uzyskano różne promienie nasączenia. Z zastosowanych trzech preparatów, największy promień penetracji uzyskiwano przy zastosowaniu emulsji silikonowej (preparat II)
- Analiza struktury metodami sorpcji par azotu oraz SEM wykazały występowanie efektów hydrofobizacji większych porów i doszczelnienia porów o mniejszych średnicach.
- Badania normowe nasiąkliwości i kapilarności potwierdziły skuteczność hydrofobizacji opoki. Badania mrozoodporności i odporności na krystalizację wykazały poprawę odporności hydrofobizowanej opoki na wymienione czynniki.
- Promień penetracji preparatu hydrofobizującego w opoce zależy od: rodzaju preparatu, wilgotności skały i ciśnienia z jakim podawany jest preparat. Badania wykazały, że najlepsze efekty uzyskano przy maksymalnym dopuszczalnym ciśnieniu 10 bar.

9.7. CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO – MECHANICZNYCH ZAPRAW PO HYDROFOBIZACJI

Badania cech fizyko-mechanicznych zapraw po hydrofobizacji wykonano po 90 dniach od zakończenia procesu tłoczenia preparatu. W ramach prowadzonych badań wykonano oznaczenia nasiąkliwości wodą oraz kapilarnego podciągania metodą zgodną z normą i metodą poprzez pomiar wilgotności masowej. Z racji obszerności materiału w podrozdziałach zamieszczono wyniki końcowe oznaczeń. Pełne protokoły badawcze znajdują się w Załączniku 6 niniejszej pracy.

9.7.1. Przygotowanie próbek

Dlatego w celu zbadania skuteczności hydrofobizacji zapraw, próbki w kształcie walców, na których uzyskano najlepsze wyniki pocięto piłą ręczną na graniastosłupy, o wymiarach jak najbardziej zbliżonych do wymiarów $40 \times 40 \times 160$ mm zgodnie z załączonymi fotografiami. Podczas cięcia wydzielono trzy strefy A, B i C. Strefa A i część B jako miejsca, które potencjalnie uległy hydrofobizacji i kontrolna strefa C.



Rys. 9.59 Próbką zaprawy wapiennej z podziałem na strefy.



Rys. 9.60 Rozkład stref poboru próbek z walca hydrofobizowanej zaprawy wapiennej

9.7.2. Oznaczanie nasiąkliwości

Badania nasiąkliwości próbek zapraw po procesie hydrofobizacji wykonane zostały po 150 dniach od zakończenia tłoczenia i dotyczyły próbek hydrofobizowanych emulsją silikonową (preparat II). Badanie zostało przeprowadzone w Laboratorium Wydziału Budownictwa i Architektury PL zgodnie z normą: PN-85 B-04500. Oznaczenie nasiąkliwości. [166]

Do badań przeznaczono po 12 próbek z każdej strefy hydrofobizowanych zapraw wapiennej i wapienno-cementowej oraz odpowiednio po 6 i 4 dla zaprawy trasowej i trasowej modyfikowanej pianą. Ze względu na obszerność materiału poniżej zamieszczone zostały wyniki końcowe. Opisy szczegółowe badań znajdują się w Załączniku 6.

Tab. 9.34 Wyniki badania nasiąkliwości próbek zapraw po hydrofobizacji emulsją silikonową.

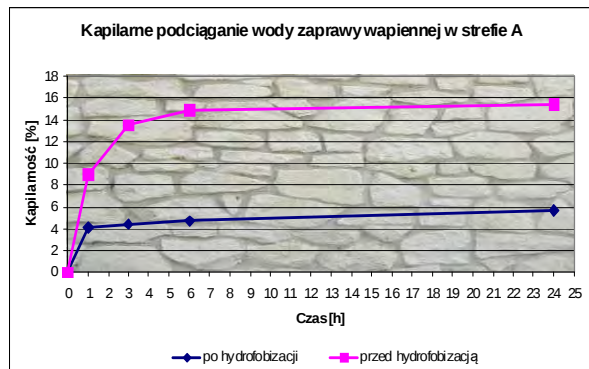
Lp.	Rodzaj zaprawy		Nasiąkliwość [%]		
			A	B	C
1	Zaprawa wapienna		15,2	16,5	16,5
2	Zaprawa wapienno - cementowa		21,9	22,3	22,3
3	Zaprawa trasowa		23,4	24,2	23,9
4	Zaprawa trasowa spieniona	1 ; 1	31,5	31,3	31,6
		1 ; 0,5	28,6	28,3	28,3
		1 ; 0,4	26,3	26,0	26,0

Zgodnie z oczekiwaniami w żadnej z grupy badanych zapraw nie nastąpiła istotna zmiana nasiąkliwości. Tylko w zaprawie wapiennej w strefie A możemy zaobserwować minimalne różnice w nasiąkliwości w porównaniu ze strefami B i C. Ta różnica może być wynikiem częściowego doszczelnienia porów preparatem.

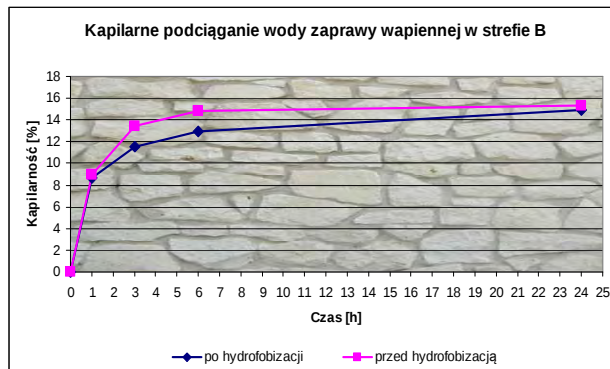
9.7.3. Oznaczanie kapilarnego podciągania

Badanie zostało przeprowadzone w Laboratorium Wydziału Budownictwa i Architektury PL zgodnie z normą: PN-85 B-04500. Oznaczenie współczynnika nasiąkliwości kapilarnej. Podobnie jak w przypadku nasiąkliwości do badań przeznaczono po 12 próbek z każdej strefy hydrofobizowanych zapraw wapiennej i wapienno-cementowej oraz odpowiednio po 6 i 4 dla zaprawy trasowej i trasowej modyfikowanej pianą. Poniżej zamieszczone zostały wyniki końcowe badań. Opisy szczegółowe badań znajdują się w Załączniku 6.

Na podstawie wyników badań zaprawy wapiennej wykonano wykresy kapilarnego podciągania wody dla strefy A i B.

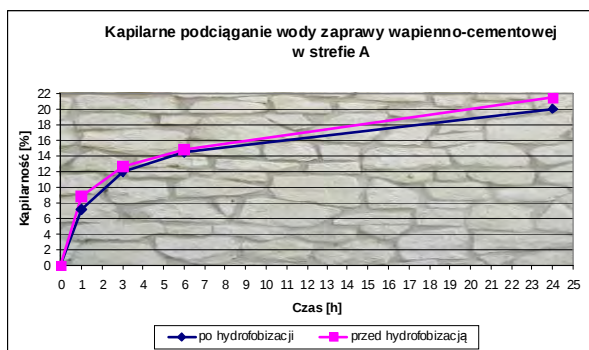


Rys. 9.61 Kapilarne podciąganie wody zaprawy wapiennej w strefie A

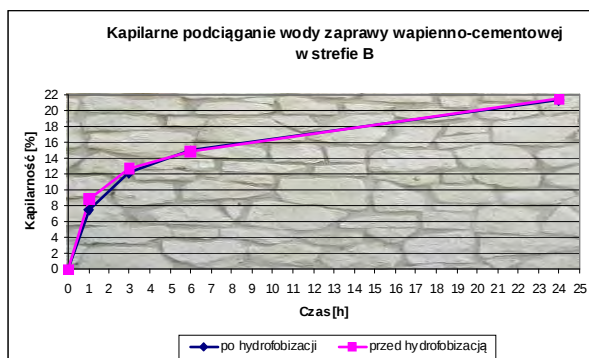


Rys. 9.62 Kapilarne podciąganie wody zaprawy wapiennej w strefie B

Na podstawie wyników badań zaprawy wapienno-cementowej wykonano wykresy kapilarnego podciągania wody dla strefy A i B.



Rys. 9.63 Kapilarne podciąganie wody zaprawy wapienno-cementowej w strefie A



Rys. 9.64 Kapilarne podciąganie wody zaprawy wapienno-cementowej w strefie B

Tab. 9.35 Wyniki badania nasiąkliwości próbek zapraw po hydrofobizacji emulsją silikonową.

Lp.	Rodzaj zaprawy		Kapilarność [%]		
			A	B	C
1	Zaprawa wapienna		5,7	14,9	15,3
2	Zaprawa wapienno - cementowa		20,1	21,3	21,4
3	Zaprawa trasowa		12,1	13,1	13,2
4	Zaprawa trasowa spieniona	1 ; 1	12,3	12,4	12,4
		1 ; 0,5	12,3	12,4	12,4
		1 ; 0,4	12,9	12,9	12,8

Z przebadanych zapraw znaczące zmniejszenie kapilarności uzyskano jedynie na zaprawie wapiennej. W strefie A nastąpiło prawie trzykrotne zmniejszenie kapilarności w stosunku do strefy C (zaprawa nienasączona preparatem). Na podstawie tego wyniku można przyjąć, że efektywne wytworzenie warstwy hydrofobowej nastąpiło w co najmniej 4 centymetrowej odległości od otworu.

Zarówno w zaprawie wapienno-cementowej, trasowej jak i trasowych modyfikowanych pianą nie odnotowano zmiany kapilarności.

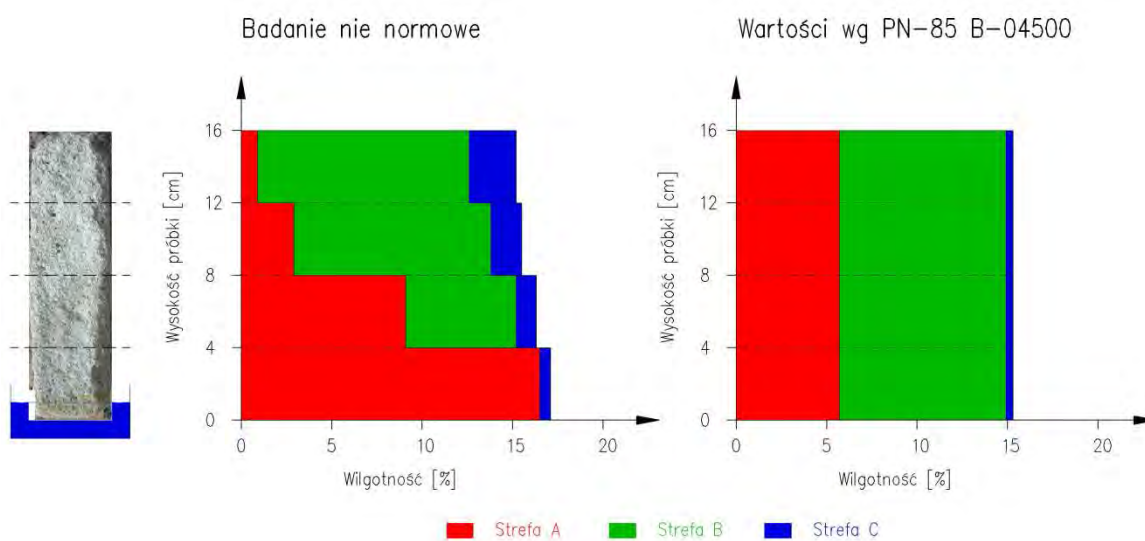
9.7.4. Oznaczanie kapilarnego podciągania przez pomiar wilgotności masowej

Z uwagi na bardzo porowatą strukturę zaprawy wapiennej i wapienno-cementowej autor pracy stwierdził, że wyniki badania kapilarnego podciągania wody wg normy PN-85 B-04500 dla próbek poddanych hydrofobizacji nie do końca oddają rzeczywistość. Powodem takiego wniosku było spostrzeżenie, iż próbki wykazywały duże zawilgocenie w pasie zanurzenia w wodzie a powyżej próbka pozostawała sucha. Dlatego uznano, że zostanie określona wilgotność a tym samym wysokość kapilarnego podciągania wody przez określenie wilgotności na poszczególnych wysokościach beleczki. Badanie te potraktowano jako dodatkowe o charakterze informacyjnym i wykonano je dla zaprawy wapiennej (hydrofobizacja odniosła skutek) .

W celu wykonania oznaczania wilgotności po określeniu kapilarnego podciągania, beleczki pocięto na cztery części, co 4cm. Następnie tak powstałe próbki sześciennie zważono z dokładnością do 1 g. Beleczki wysuszono do uzyskania stałej masy i określono wilgotność w sposób zgodny z badaniem wilgotności masowej materiałów. [206]

Tab. 9.36 Wartości średnie wilgotności zaprawy wapiennej po badaniu kapilarności dla poszczególnych stref

Wysokość próbki	Wilgotność średnia (badanie nienormowe) [%]			Kapilarność wg normy [%]		
	A	B	C	A	B	C
16	0,9	12,6	15,2	5,7	14,9	15,3
12	2,9	13,8	15,5			
8	9,1	15,2	16,3			
4	16,5	17,1	17,1			

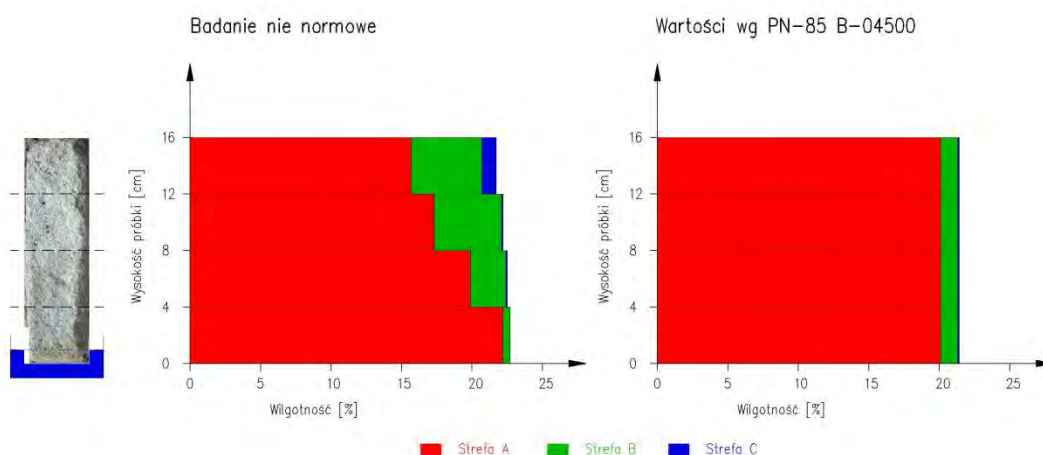


Rys. 9.65 Średnia wilgotność beleczek z zaprawy wapiennej na wyznaczonych wysokościach.

Na powyższym wykresie widać znaczne różnice wilgotności badanych beleczek w strefie A. Badanie normowe obrazuje wyniki średnie dla całej beleczki. Pocięcie beleczki i określenie wilgotności dla poszczególnych wysokości daje wyraźny obraz rozkładu wilgoci. Do wysokości 4cm występuje duże zawilgocenie spowodowane zanurzeniem beleczki w wodzie. W przedziale 4-8cm widać zmniejszenie zawilgocenia o niemal połowę a powyżej 8cm zawilgocenie jest nieznaczne.

Tab. 9.37 Wartości średnie wilgotności zaprawy wapienno-cementowej po badaniu kapilarności dla stref A, B i C

Wysokość próbki	Wilgotność średnia (badanie nie normowe) [%]			Kapilarność wg normy [%]		
	A	B	C	A	B	C
16	15,7	20,7	21,7	20,1	21,3	21,4
12	17,3	21,1	22,2			
8	19,9	22,4	22,5			
4	22,2	22,7	22,7			



Rys. 9.66 Średnia wilgotność beleczek z zaprawy wapienno-cementowej na wyznaczonych wysokościach.

Uzyskano znaczące ograniczenie kapilarności w skrajnych przypadkach do całkowitego zahamowania podciągania wody. Skuteczność iniekcji zależy przede wszystkim od wilgotności zaprawy i od ciśnienia roboczego.

W zaprawach wapienno-cementowych nie uzyskano dużych promieni penetracji, a co za tym idzie zaledwie ok. 25% spadek kapilarności. Taki wynik nie jest zadowalający, dlatego nie należy wykonywać warstw hydrofobowych w zaprawach wapienno-cementowych albo należy przebadать tą zaprawę pod kątem hydrofobizacji preparatem o innym składzie chemicznym.

Do zapraw trasowych nie udało się wprowadzić preparatu z uwagi na szczelną strukturę. Nawet zdecydowane zwiększenie porowatości nie zwiększyło uzyskiwanych promieni penetracji. Dlatego należy zadać pytanie czy stosowanie zapraw trasowych jest wskazane przy iniekcji.

9.7.5. Wnioski dotyczące badań w zaprawach

- Istnieje możliwość wprowadzenia preparatu i wytworzenia warstwy hydrofobizującej w zaprawie wapiennej przy zastosowaniu emulsji silikonowej.
- Nie uzyskano zadawalających efektów podczas prób tłoczenia preparatu w zaprawy wapienno-cementowych, pomimo wyższych wartości nasiąkliwości i kapilarności w stosunku do zapraw wapiennych.
- Badania wykazały brak możliwości wprowadzenia preparatu do zapraw trasowych. Efektów nie odnotowano pomimo zwiększenia porowatości (modyfikacja pianą) i wzrostu ciśnienia podawania preparatu.
- Brak efektów w zaprawach trasowych oraz niedostateczne w wapienno-cementowej związane są zamkniętą strukturą porów w tych zaprawach.
- Promień penetracji preparatu hydrofobizującego w zaprawie wapiennej zależy od jej wilgotności i ciśnienia z jakim tłoczony jest preparat.
 - o Najlepsze efekty uzyskiwano przy wilgotnościach zaprawy powyżej 10%.
 - o Zadawalający promień penetracji w przypadku zapraw wapiennych uzyskano przy ciśnieniach niższych od maksymalnych dla iniekcji niskociśnieniowej. Tłoczenie prowadzono przy ciśnieniu do 6 bar. Próby zwiększenia ciśnienia prowadziły do zniszczenia próbki.

10. HYDROFOBIZACJA MURÓW

Uzyskane pozytywne wyniki hydrofobizacji opoki i zaprawy wapiennej wymusiły konieczność rozszerzenia zakresu badań. Zdecydowano o przeprowadzeniu 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.

10.1. BADANIA MOŻLIWOŚCI WYKONANIA INIEKCJI W BŁOKACH 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 12cm. 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. Dokumentacja fotograficzna z badań zamieszczona została poniżej



Rys. 10.1 Blok opoki po procesie tłoczenia preparatu II.
Widok z boku



Rys. 10.2 Blok opoki po procesie tłoczenia preparatu II.
Widok z góry



Rys. 10.3 Proces tłoczenia preparatu



Rys. 10.4 Przy rozstawie 12 cm strefy hydrofobizowanej dwoma otworami opoki stykają się.



Rys. 10.5 Pomiar promienia penetracji preparatu w opoce

10.2. WYKONANIE MURÓW Z OPOKI

W celu zbadania skuteczności przepony chemicznej na murach z opoki wapnistej zostały wykonane trzy mury doświadczalne o wymiarach 150cm x 120cm x 50cm. Do wzniesienia murów wynajęto murarzy z Bochotnicy (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 murki, 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. 10.6 Proces wznoszenia murów



Rys. 10.7 Ukończony mur nr 2



Rys. 10.8 Widok muru w kołnierzu podczas procesu karbonizacji.



Rys. 10.9 Widok ukończonych 3 murów z przyjętą do badań numeracją

10.3. BADANIE SZYBKOŚCI PODCIĄGANIA KAPILARNEGO NA MURACH Z OPOKI

Po okresie sezonowania wilgotność murów badawczych spadła do bardzo niskiego poziomu. Jest logicznym, że przepony wykonuje się przede wszystkim w murach zawilgoconych. Ze względu na to, zaszła konieczność podwyższenia ich wilgotności. Wykorzystując okres nasączania wodą (70 dni), autor prowadził cykliczne badania wilgotności murów.

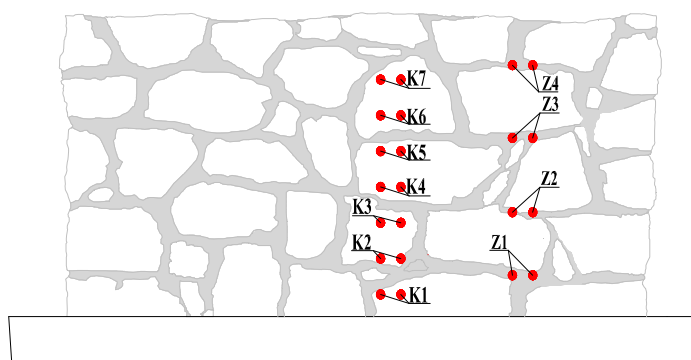
Pomiary wilgotności murów, których celem było określenie szybkości i wysokości podciągania kapilarnego w murach wykonano za pomocą miernika LB-795. [218] Urządzenie zostało wcześniej skalibrowane co umożliwiło pomiary metodą opornościową opoki i zaprawy wapiennej w murach. W murach doświadczalnych zamontowano sondy pomiarowe o długości 15cm. Zostały one rozmieszczone w parach co 10cm w kamieniu, oraz w każdej poziomej spoinie z zaprawy wapiennej. Ze względu na objętość i dodatkowy charakter badań, poniżej zamieszczono jedynie dokumentację fotograficzną, schemat rozmieszczenia sond i przykładowe wykresy. Szczegółowe wyniki pomiarów oraz wykonane na ich podstawie wykresy znajdują się w Załączniku 7.



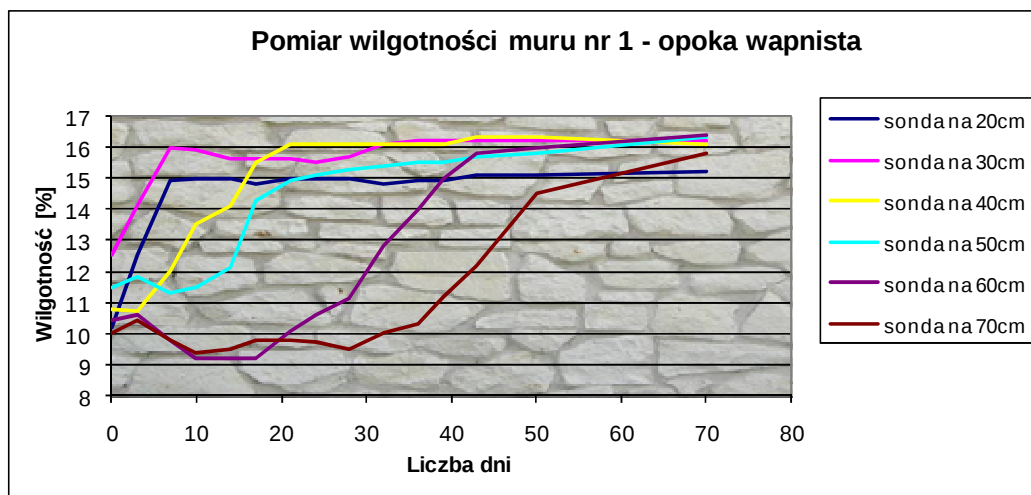
Rys. 10.10 Widok zamontowanych sond igłowych w murze



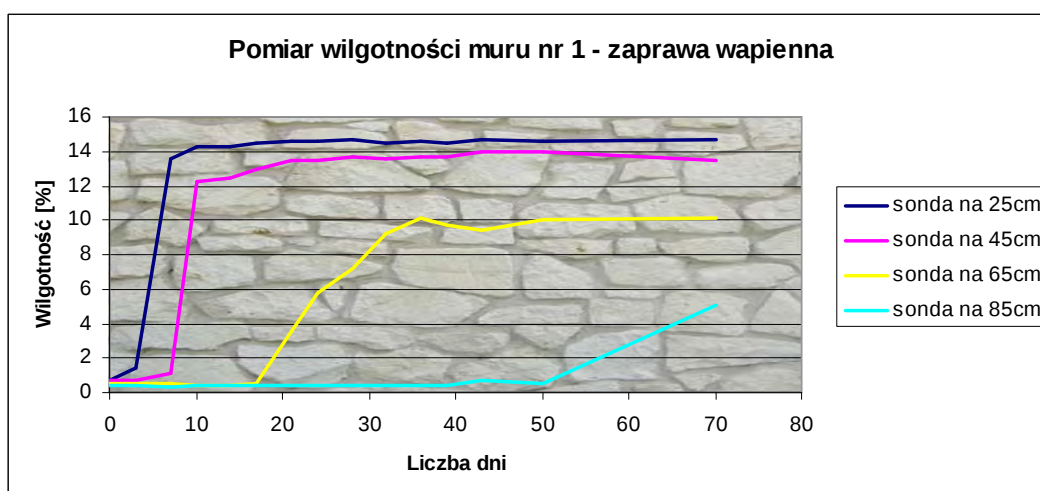
Rys. 10.11 Pomiar wilgotności miernikiem LB-795



Rys. 10.12 Oznaczenia sond do pomiaru wilgotności w murze K - sondy w opoce, Z- sondy w zaprawie



Rys. 10.13 Wykres ilustrujący kapilarne podciąganie wody przez opokę w murze nr 1



Rys. 10.14 Wykres ilustrujący kapilarne podciąganie wody przez zaprawę wapienną w murze nr 1

We wszystkich trzech murach kapilarne podciąganie wody, zarówno dla zaprawy wapiennej jak i dla opoki, przebiega w sposób bardzo podobny. Na sondach umieszczonych w kamieniu, od początku uzyskiwano podwyższone wilgotności, pomimo stosunkowo długiego okresu sezonowania (odsychania). W przypadku opoki, w ciągu 70 dniowego okresu badań na wszystkich wysokościach uzyskano przyrost wilgotności do mniej więcej takiego samego poziomu. Po osiągnięciu około 15-16% dalszy przyrost jest wyraźnie wolniejszy. W przypadku spoin z zaprawy wapiennej na wysokościach do 50cm wyraźny skok wilgotności uzyskano po

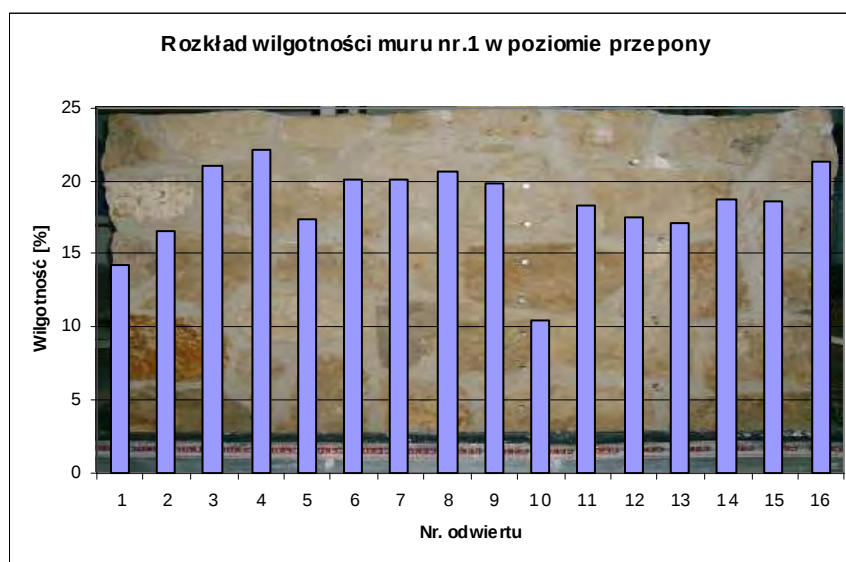
4-5 dobach. Woda transportowana kapilarnie do sond zamontowanych na wysokości ok. 65 i 85 cm dotarła odpowiednio po 18 i 50 dobach.

10.4. INIEKCJA MURÓW

Na podstawie wcześniej wykonanych badań zdecydowano, że we wszystkich murach zastosowany zostanie ten sam preparat (emulsja silikonowa). 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 trasy, a w murze nr 3 iniekcje jednostronną. Iniekcje wykonano zgodnie z informacjami zawartymi w instrukcji WTA 4-4-04D [153] 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.

Zwierzcina z otworów posłużyła do ustalenia poziomu wilgotności muru na wysokości przepony. Badania były niezbędne do przyjęcia stężenia emulsji silikonowej. Badanie wilgotności przeprowadzano metodą grawimetryczną.[206] We wszystkich murach odnotowano porównywalne zawilgocenie w granicach 15-20%. Kompletnie wyniki badań zamieszczono w Załączniku 7.



Rys. 10.15 Rozkład wilgotności muru nr 1 w poziomie otworów wykonywanej przepony

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 12-14mm. 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 trasy 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.



Rys. 10.16 Przygotowanie otworów pod iniekcję



Rys. 10.17 Otwory wywiercone w linii w odstępach co 10 -12cm.



Rys. 10.18 Widok muru przygotowanego do tłoczenia



Rys. 10.19 Tłoczenie zaprawy trasowej



Rys. 10.20 Wyciek zaprawy trasowej z muru



Rys. 10.21 Iniekcja muru emulsją silikonową

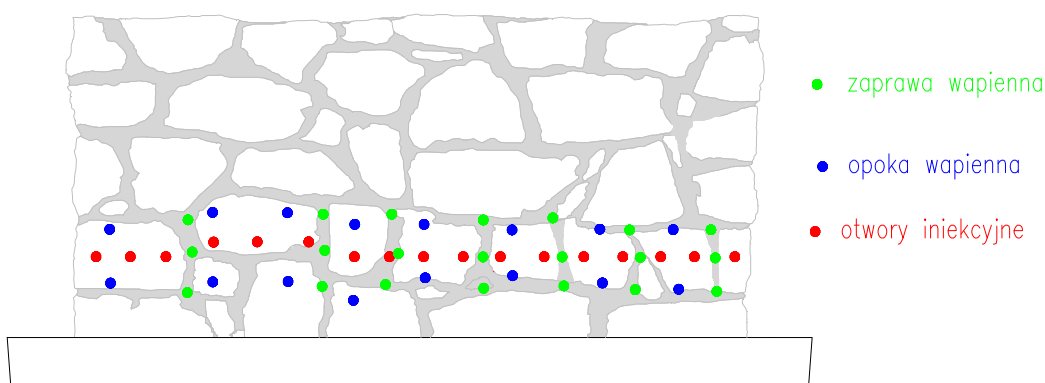
Tab. 10.1 Zestawienie parametrów charakteryzujących iniekcje w murach z opoki wapnistej

Nr muru	Rodzaj iniekcji	Liczba otworów iniekcyjnych	Ciśnienie [bar]	Stężenie preparatu	Powierzchnia muru [m ²]	Ilość preparatu [l]	Zużycie na 1m ²
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.

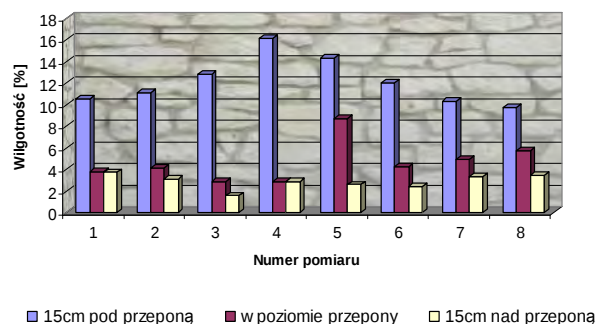
10.5. BADANIE SKUTECZNOŚCI PRZEPONY CHEMICZNEJ W MURZE Z OPOKI

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. Poniżej zamieszczono grafikę ilustrującą miejsca poboru materiału do badań wilgotności masowej. Badania wykonano metodą grawimetryczną.[206]

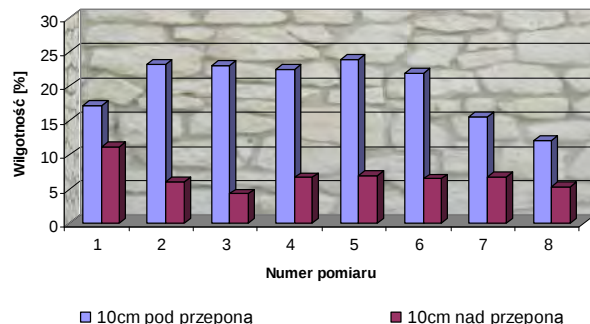


Rys. 10.22 Przykładowy rozkład punktów pomiaru wilgotności muru po hydrofobizacji

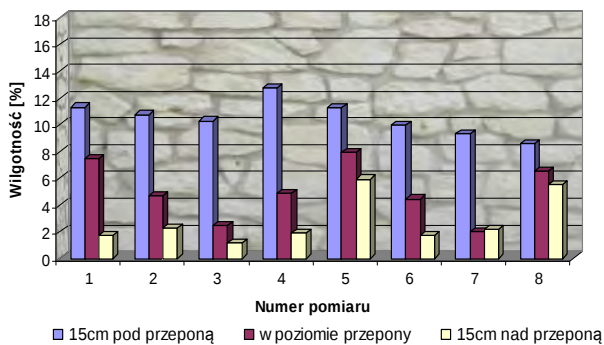
Tabele z wynikami pomiarów zamieszczono w Załączniku 7. Poniżej znajdują się wykresy rozkładu wilgotności w poszczególnych murach doświadczalnych. Dla muru nr 1 wykonano pomiary po obu stronach przepony, pomiary od strony frontowej oznaczono jako nr 1a pomiary od strony tylnej jako nr 1b.



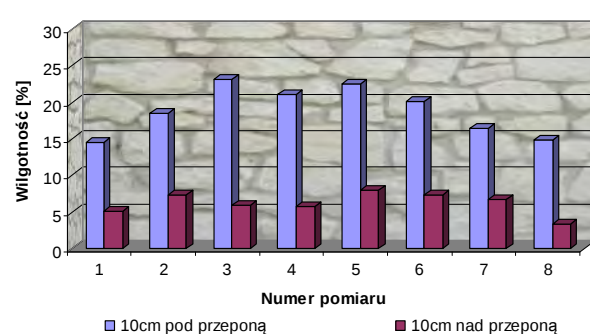
Rys. 10.23 Badania wilgotności muru nr 1 strona a wyniki dla zaprawy wapiennej



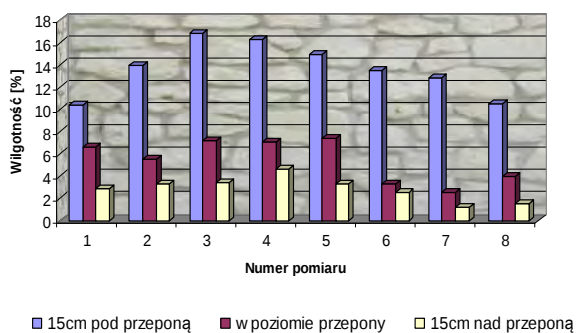
Rys. 10.24 Badania wilgotności muru nr 1 strona a wyniki dla opoki



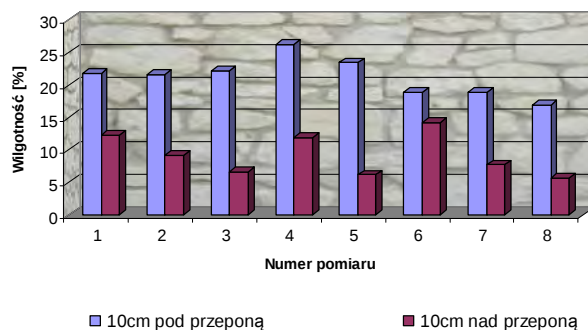
Rys. 10.25 Badania wilgotności muru nr 1 strona b wyniki dla zaprawy wapiennej



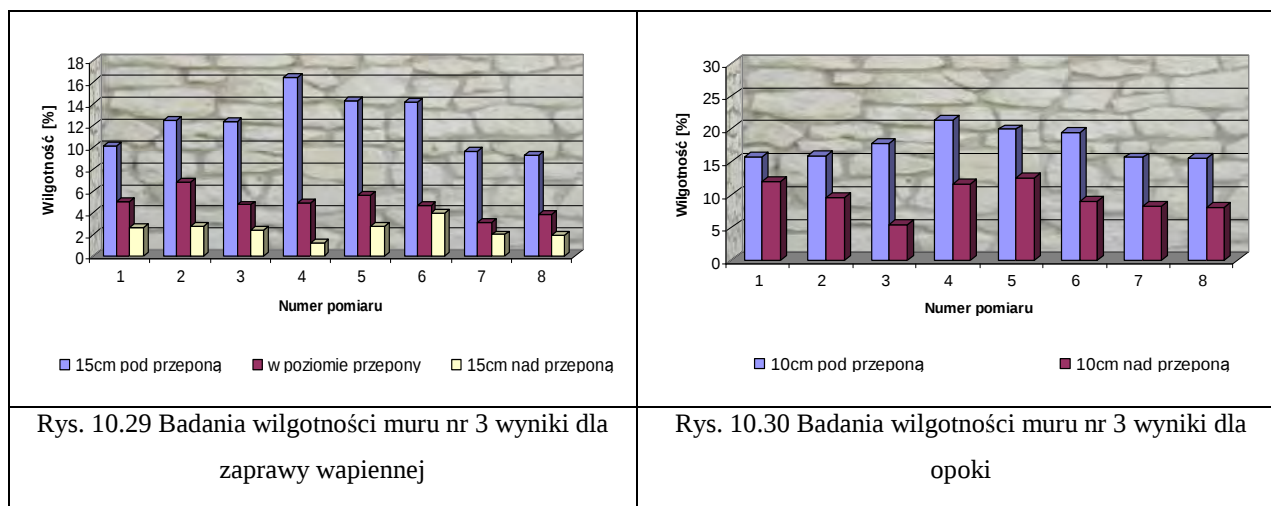
Rys. 10.26 Badania wilgotności muru nr 1 strona b wyniki dla opoki



Rys. 10.27 Badania wilgotności muru nr 2 wyniki dla zaprawy wapiennej



Rys. 10.28 Badania wilgotności muru nr 2 wyniki dla opoki



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.

Ocenę skuteczności oparto na wymaganiach instrukcji WTA 4-4-04D[153], w związku z brakiem innych wiarygodnych źródeł. Po 40 dniach od wykonania przepony we wszystkich murach odnotowano spadek zawilgocenia o ponad 50%. Zgodnie z wspomnianą instrukcją 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.

10.6. 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 rozwiercanie 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 1m² mieściło się w zakresie podanym w karcie technicznej (20-30l).

11. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzone badania doświadczalne prowadzą do sformułowania następujących wniosków:

1. Istnieje możliwość hydrofobizacji wgłębnej opoki.
2. Na podstawie analizy statystycznej stwierdzono, że promień penetracji preparatu hydrofobizującego w opoce zależy od: rodzaju preparatu, wilgotności skały i ciśnienia z jakim podawany jest preparat.
3. Badania wykazały, że najlepsze efekty uzyskano przy maksymalnym dopuszczalnym ciśnieniu 10 bar z użyciem emulsji silikonowej.
4. Analiza struktury metodami sorpcji par azotu oraz SEM wykazały występowanie efektów hydrofobizacji większych porów i doszczelnienia porów o mniejszych średnicach.
5. Analiza statystyczna wyników badań nasiąkliwości i kapilarności potwierdziła skuteczność hydrofobizacji opoki. Badania mrozoodporności i odporności na krystalizację wykazały poprawę odporności hydrofobizowanej opoki na wymienione czynniki.
6. Wykazano możliwość wykonania przepony chemicznej w murze z opoki na zaprawie wapiennej.
7. Nie wykazano możliwości wykonania przepony w murach z opoki na zaprawie wapienno-cementowej i trasowej. Wniosek został sformułowany na podstawie niedostatecznych efektów hydrofobizacji próbek z tych zapraw.
8. Na podstawie analizy statystycznej wyznaczono zależności regresyjne pomiędzy wielkością promienia penetracji, a wilgotnością opoki i ilością zużytego preparatu w odniesieniu do zaprawy.
9. W przypadku wszystkich wariantów iniekcji niskociśnieniowej (jednostronna, jednostronna z doszczelnieniem i dwustronna) w murach z opoki na zaprawie wapiennej wytworzono skuteczną przeponę.
10. Istnienie skutecznej przepony potwierdzono wynikami badań wilgotności nad i pod przeponą. We wszystkich murach po 40 dniach wilgotność masowa nad przeponą była o ponad 50% niższa.

11. Najlepszą skuteczność tworzonej przepony uzyskano przy iniekcji dwustronnej z rozstawem otworów 11-12cm, ciśnieniu do 10 bar z użyciem emulsji silikonowej.
12. Proponuje się kontynuację badań nad wykonywaniem przepon w murach z wariantowaniem zapraw i materiałów murowych.

12. BIBLIOGRAFIA

Czasopisma i monografie

- [1] Adamek R., Ptak J.: Górnictwo cz.1 – Górnictwo surowców skalnych, Politechnika Śląska, Gliwice 1984.
- [2] Adamowski J., Matkowski Z.: Ocena skuteczności osuszania ścian murowanych, Materiały Budowlane 4/1999.
- [3] Adamowski J.: Metodyka badań zawilgoconych murów, Materiały Budowlane 7/2005.
- [4] Adamowski J.: Problemy osuszania budynków murowanych, Materiały Budowlane 4/1999.
- [5] Adamowski J.: Przegląd i ocena metod osuszania murów, Renowacje 10/2000.
- [6] Adamsom A.: Chemia fizyczna powierzchni, PWN, Warszawa 1980.
- [7] Barnat – Hunek D., Franus W., Stan zachowania murów zabytkowego Spichlerza Ulanowskich w Kazimierzu Dolnym nad Wisłą, Konf. Naukowa: Postęp i nowoczesność w konserwacji zabytków. Problemy, perspektywy. Politechnika Lubelska, Lublin, 2005.
- [8] Barnat-Hunek D., Sobczuk H., Suchorab Z.: Pomiary wilgotności murów z kazimierskiej opoki wapnistej przy zastosowaniu metody TDR, Budownictwo i Architektura 2/2008.
- [9] Barnat-Hunek D., Szmygin B. Ocena efektywności preparatów do powierzchniowej hydrofobizacji opoki wapnistej z Kazimierza Dolnego nad Wisłą. Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych, Wrocław, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2006.
- [10] Barnat-Hunek D.: Ocena skuteczności hydrofobizacji murów z opoki wapnistej na podstawie analizy parametrów wilgotnościowych, Rozprawa doktorska, Lublin 2007.
- [11] Bear J., Bachmat Y.: Introduction to Modeling of Transport Phenomena In Porus Media, Netherlands, Kluwer Academic Publishers 1991.
- [12] Bezpalko N., Sobczuk H. Określenie właściwości wilgotnościowych materiałów budowlanych za pomocą metody TDR, Referaty naukowe sympozjum „Nowe osiągnięcia nauki i techniki w budownictwie”, Rzeszów 2005, Wyd-wo Politechniki Rzeszowskiej.
- [13] Bodnar M., Fiertak M.: Ocena skuteczności preparatów hydrofobizacyjnych do zabezpieczania elewacji w obiektach zabytkowych, IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Rew-Inż., Materiały Konferencyjne, Kraków 5/1998.
- [14] Bolewski A., Manecki A.: Mineralogia szczegółowa, Polska Agencja Ekologiczna, Warszawa 1993.
- [15] Bolewski A., Parachoniak W.: Petrografia, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1982.

-
- [16] Brogowski Z., Retman G.: Characterization of Opoka as a Basis for its Use in Wastewater Treatment, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 13, No. 1 2004.
- [17] Broniewski T., Fiertak M.: Chemia budowlana. Materiały pomocnicze do ćwiczeń laboratoryjnych, Pomoc dydaktyczna, Wydanie czwarte, Politechnika Krakowska, Kraków 2002.
- [18] Budownictwo ogólne Fizyka budowli. T.2, Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Klema P., Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 2005.
- [19] Budownictwo ogólne. Materiały i wyroby budowlane. T.1. Praca zbiorowa pod kierunkiem Stefańczyka B., Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 2005.
- [20] Carroll B.J.: The Stability of Emulsions and Mechanisms of Emulsion Breakdown in E. Matijevic (ed.), Surface and Colloid Science, vol. 9/1976.
- [21] Ciabach J.: Właściwości żywic sztucznych stosowanych w konserwacji zabytków, Toruń 1997.
- [22] Czarnecki L., Broniewski T., Henning O.: Chemia w budownictwie, Arkady, Warszawa 1996.
- [23] Czarny D.: Wykonywanie izolacji poziomej za pomocą Impuls-System, Materiały budowlane 8/2002.
- [24] Czeremiński J., Iwasiewicz A., Paszek Z., Sikorski A.: Metody statystyczne w doświadczalnictwie chemicznym, PWN Warszawa 1970.
- [25] Diamond S.: Long-term hardened status of calcium hydroxide saturation of pore solutions In hardened cements, Cement and Concrete Research, 6/1975
- [26] Dohnalik M., Flaga K.: Zabezpieczenie murów od wilgoci gruntowej metoda wgłębnej hydrofobizacji, Inżynieria i Budownictwo 5/1971.
- [27] Domasłowski W.: Badania nad strukturalną hydrofobizacji wapienia pińczowskiego, Biuletyn Informacyjny Konserwatorów dzieł sztuki, 6/1995.
- [28] Domasłowski W.: Profilaktyczna konserwacja kamiennych obiektów zabytkowych, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1993.
- [29] Domasłowski W.: Zasady konserwacji murów ceglanych i kamiennych detali architektonicznych, UMK w Toruniu.
- [30] Domasłowski W.: Zasady Konserwacji murów ceglanych i kamiennych detali architektonicznych, Ochrona Zabytków 1/2005.
- [31] Domin T., Pieniążek Z.: Skuteczność osuszania ścian – metody oraz problemy teoretyczne i praktyczne, Inżynieria i Budownictwo 10/1993.
- [32] Duc E., Dyczkowski J.: Ocena skuteczności działania instalacji elektroosmotycznej, Inżynieria i Budownictwo 6/1975.
- [33] Dziedziczki A.: Iniekcyjne systemy Webac, Materiały Budowlane 6/1997.
- [34] Encyklopedia techniki - Chemia, WNT, Warszawa 1966.

- [35] Francke B.: Iniekcyjne metody wykonania izolacji poziomej murów, *Materiały Budowlane* 8/2002.
- [36] Franus W., Trochonowicz M.: Cegła ceramiczna jako „izolacja przeciwwodna”, *Ceramika Budowlana*, 01/2006.
- [37] Frossel F.: Osuszanie murów i renowacja piwnic, Polcen, Warszawa 2007.
- [38] Futryn S.: Kartki z dziejów "Ochrony" im. A. Żeromskiego w Nałęczowie, *Gazeta Nałęczowska* 2/2002.
- [39] Garecki M.: Sporządzanie ekspertyz zawilgoconych budynków, *Materiały Budowlane* 8/2002.
- [40] Gasewicz J.: Iniekcje Przeciw wilgoci podciąganej kapilarnie, *Materiały budowlane* 4/1999.
- [41] Gawin D., Koniarczyk M.: Model zjawisk cieplno-wilgotnościowych i transportu soli w materiałach budowlanych, *Konferencja Naukowa Krynica, Tom IV, Warszawa-Krynica* 2004.
- [42] Gerdes A.: Transport Und chemische Reaktion siliciumorganischer Verbindungen in der Betonrandzone, *Building Materials Reports No 15, Aedificatio Verlag*, 2002.
- [43] Górecki A.: Problemy zawilgocenia, pomiarów wilgotności i osuszania obiektów zabytkowych – Sympozjum w Lublinie i Zamościu, *Ochrona Zabytków* 1/1985.
- [44] Hassanizadeh S. M., Leijnse A.: A non – lineal theory of high – concentration – gradient dispersion in porous media, *Water Resour*, 1995.
- [45] Hoła J., Hoła B.: Skutki długotrwałego zawilgocenia ścian z cegły, *Materiały budowlane* 6/2001.
- [46] Hoła J., Makowski Z., Pawlonka A.: Niektóre problemy wykonywania zabezpieczeń przeciwwilgociowych ścian obiektów zabytkowych, *Przegląd Budowlany* 2/1998.
- [47] Hoła J., Makowski Z.: Zabezpieczenia przeciwwilgociowe murowanych ścian budynku zabytkowego, *Materiały Budowlane* 11/2003.
- [48] Ickiewicz I., Ickiewicz J., Sarosiek W.: *Fizyka budowli. Wybrane zagadnienia*. Białystok 2000.
- [49] Idzikowski P.: *Technologia osuszania murów*, *Atlas budowlany nr 84*/2006.
- [50] Jasieńko J., Matkowski Z. Zasolenie i zawilgocenie murów ceglanych w obiektach zabytkowych – diagnostyka, metodyka badań, techniki rehabilitacji. *Wiadomości konserwatorskie*. nr 14/2003.
- [51] Jasieńko J., Matkowski Z., Bednarz Ł.: Problemy w projektowaniu zabezpieczeń przeciwwilgociowych na przykładzie zabytkowego kościoła św. Jakuba w Nysie, *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Konferencja REMO* 2002.
- [52] Jasieńko J., Matkowski Z., Marek A.: Problemy w wykonywaniu zabezpieczeń przeciwwilgociowych murów obiektów zabytkowych na przykładzie zespołu

- klasztornego w Henrykowie, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Konferencja REMO 2002.
- [53] Jasieńko J., Matkowski Z.: Problemy wykonywania zabezpieczeń przeciwwilgociowych w dotkniętych powodzią obiektach śródmiejskich Wrocławia, V Konferencja Naukowo-Techniczna „Rew-Inż., Materiały Konferencyjne, Kraków 2000.
- [54] Jasiński T.: Związki krzemoorganiczne, PWN Warszawa 1955.
- [55] Kamienie budowlane i drogowe Praca zbiorowa pod redakcją Mariana Kamińskiego i Włodzimierza Skalmowskiego Wydawnictwa Geologiczne - Warszawa 1957.
- [56] Kamiński K., Stefaniak P.: Analiza zawilgocenia i zasolenia ścian murowanych z cegły po 10 latach od wykonania izolacji poziomej, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, 2002.
- [57] Kierej W., Czajewska H.: Ocena mikrostruktury i cech fizyko – mechanicznych podstawowych typów litologicznych wapieni, Prace Instytutu Techniki Budowlanej nr 2 /1981.
- [58] Kilian W.: Osuszanie budynków zawilgoconych podczas powodzi, Materiały Budowlane 1/1999.
- [59] Kisielewicz B., Królak E., Pieniążek Z.: Izolacje wodochronne w budownictwie, Politechnika Krakowska, Kraków 1999.
- [60] Klemm P. (red.), Fizyka materiałów i konstrukcji budowlanych. Wybrane modele i metody badań. T. I, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1993.
- [61] Konarski B., Jabłoński R.: Zabezpieczenia obiektów budowlanych przed zawilgoceniem a skuteczność osuszania metodami iniekcyjnymi, Ochrona Zabytków 1/2000.
- [62] Kozłowski R., Olesiak J.: Wilgoć w budowlach zabytkowych, Renowacje 4/2000.
- [63] Kozłowski S.: Surowce skalne polski, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1986.
- [64] Kramarz K Izolacje poziome i pionowe w budownictwie, wykonywane metodą iniekcji ciśnieniowej, Ochrona Zabytków 4/2004.
- [65] Kramarz K.: Iniekcja ciśnieniowa, Kalejdoskop Budowlany 4/2002.
- [66] Kramarz K.: Nowa technologia iniekcji ciśnieniowej, Materiały Budowlane 8/2002.
- [67] Królak E., Pieniążek z.: Osuszanie ścian z wilgoci podciąganej kapilarnie, Kraków 1999.
- [68] Krzowski Z., Pawlik P., Wójtowicz U.: Surowce skalne regionu lubelskiego, Lublin : Wydawnictwo Uczelniane PL, 1979.
- [69] Krzywobłocka – Laurów R., Rościszewski P., Zielecka M.: Badanie trwałości zabezpieczeń hydrofobowych środkami krzemoorganicznymi obiektów zabytkowych., ITB.

-
- [70] Krzywobłocka – Laurów R.: Koncepcja oceny stanu kamiennych obiektów zabytkowych, *Ochrona Zabytków* 1/1998.
- [71] Kubik J.: Przepływy wilgoci w materiałach budowlanych, Politechnika Opolska 2000.
- [72] Künzel H., Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One and Two Dimensional Calculation using Simple Parameters. IRB Verlag, 1995.
- [73] Kuska Z.: Analiza metod pomiaru wilgotności przegród budowlanych, *Prace Naukowe Instytutu Bud. P. Wr.*, Nr 12/1974
- [74] Leśniewska M., Pogorzelski J. A.: Badania ruchu kapilarnego wody w niektórych materiałach budowlanych, „*Arch. Inż. Łąd.*” 2/1976.
- [75] Łukaszewicz J. W.: Badania i zastosowanie związków krzemooorganicznych w konserwacji zabytków kamiennych (Investigation and application of the organosilicon compounds in conservation of stone monuments), wyd. UMK, Toruń 2002.
- [76] Łukaszewicz J. W.: Konserwacja murów ceglanych - wzmacnianie, materiały z Ogólnopolskiej Konferencji Konserwacja murów ceglanych. Badania i praktyka, Toruń, 1/1999.
- [77] Łukaszewicz J. W.: Współczesne materiały używane w pracach konserwatorskich przy zabytkach architektury. Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych. Praca zbiorowa pod redakcją Jasieńki J., Dolnośląskie Wydawnictwo edukacyjne, Wrocław 2006.
- [78] Łukaszewicz J. W.: Związki krzemooorganiczne w konserwacji kamiennych obiektów zabytkowych, *Ochrona Zabytków*, 1/1996.
- [79] Machalski M.: Late Maastrichtian and earliest Danian scaphitid ammonites from central Europe: Taxonomy, evolution, and extinction, *Acta Palaeontologica Polonica* 50 (4).
- [80] Majdowski A.: Zastosowanie metod iniekcyjnych w praktyce budowlano - konserwatorskiej, *Ochrona Zabytków* 3,4/1985.
- [81] Matkowski Z., Pawlonka A.: Skutki zawilgocenia budynków murowanych zalanych wodą powodziową, *Przegląd Budowlany* 9/1998.
- [82] Maziarka S.: Zanieczyszczenia powietrza w budynkach osuszanych metodą elektroiniekcji z użyciem płynów hydrofobowych, *Materiały Budowlane* 3/1990.
- [83] Meier – Grolmann F. W., Dietrich H. Der offene Porenraum und Einfluss chemischer und mineralischer Zusätze, *Zement Kalk Gips* 4/1969.
- [84] Metody i technologie osuszeń, opracowanie redakcyjne, *Renowacje i Zabytki* 4/2007.
- [85] Mirowski R.: Nowa metoda nasycania kamiennych obiektów zabytkowych, *Ochrona Zabytków* 3/1990.

-
- [86] Nawrot W.: Badania wpływu hydrofobowych związków kompleksowych na zdolność oddychania betonu, piaskowca i wapienia, Rocznik Przedsiębiorstwa Państwowego Pracowni Konserwacji Zabytków 1985.
- [87] Nawrot W.: Iniekcyjna metoda wytwarzania blokady przeciwwilgociowej w murach, Przegląd Budowlany 7/1985.
- [88] Nawrot W.: Kryteria wyboru środków do iniekcji przeciwwilgociowej murów, Rocznik Przedsiębiorstwa Państwowego Pracowni Konserwacji Zabytków 1985.
- [89] Nawrot W.: Metoda iniekcji krystalicznej i jej skuteczność techniczna w porównaniu z innymi metodami osuszania budowli, Ochrona i Konserwacja Zabytków Warszawa 6/1997.
- [90] Nawrot W.: Metoda kontroli szczelności przepon hydrofobowych w zawilgoconych murach, Przegląd Budowlany 10,11/1983.
- [91] Nawrot W.: O skuteczności (lub nie) metod osuszania, Renowacje 7/2001.
- [92] Nawrot W.: Ocena skuteczności nowoczesnych metod osuszania budowli, Przegląd Budowlany 8,9/1986.
- [93] Nawrot W.: Osuszanie budynków zabytkowych metoda przepon wytwarzanych drogą iniekcji, Rocznik Przedsiębiorstwa Państwowego Pracowni Konserwacji Zabytków 1985.
- [94] Nawrot W.: Sposób osuszania budowli z wilgoci podciąganej z gruntu metoda iniekcji krystalicznej, Przegląd Budowlany 6/1987.
- [95] Nawrot W.: Wysychanie murów po wytworzeniu przepon hydrofobowych drogą iniekcji, Rocznik Przedsiębiorstwa Państwowego Pracowni Konserwacji Zabytków 1985.
- [96] Niemcewicz P.: Zabezpieczenie powierzchni wapienia dębnickiego przed działaniem czynników niszczących, Ochrona Zabytków 1/1996.
- [97] Olifierowicz J., Kaliszuk-Wietecha A.: Metody osuszania ścian budynków istniejących, Materiały Budowlane 7/2005.
- [98] Olifierowicz J.: Materiały do izolacji przeciwwilgociowych i przeciwwodnych, Materiały Budowlane 6/1997.
- [99] Olifierowicz J.: Termoiniekcja – metoda osuszania i przeciwwilgociowego zabezpieczania murów budynków istniejących, Przegląd Budowlany 10/1994.
- [100] Olifierowicz J.: Termoiniekcja – metoda osuszania i przeciwwilgociowego zabezpieczenia murów budynków, Ochrona i Konserwacja Zabytków Warszawa 5/1997.
- [101] Olifierowicz J.: W sprawie niektórych metod osuszania murów, Inżynieria i Budownictwo Nr 5/1994.
- [102] ONORM-B 3355-1/2006-03-01 Trockenlegung von Feuchten Mauerwerk/Bauwerkdiagnostik und Planungsgrundlagen.

- [103] Osiecka E.: Materiały budowlane- kamień, ceramika, szkło, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [104] Ostterholz F. D., Pohl E. R.: Kinetics of the hydrolysis and condensation of organofunctional alkoxysilanes: a review, *Journal of Adhesion Science Technology* 6/1992.
- [105] Oterman S.: Skały węglanowe w kamieniarstwie, *Materiały Budowlane* 4/1983.
- [106] Parosa R., Reszke E.: Izolacje poziome w zawilgoconych murach – opis metody, *Renowacje* 4/2000.
- [107] Pawlonka A., Batog A.: Nowe materiały w zabezpieczeniach wodochronnych, *Przegląd Budowlany* 10/1995.
- [108] Pieniążek Z., Królak E.: Analiza metod osuszania ścian, *Materiały Budowlane* 6/1999.
- [109] Pieniążek Z., Sąsiadek S., Królak E., Analiza i ocena skuteczności stosowanych metod osuszania ścian, *Inżynieria i Budownictwo* 9/1995.
- [110] Pieniążek Z., Sąsiadek S., Królak E.: Nowe metody osuszania ścian *Materiały Budowlane* 6/1997.
- [111] Pieniążek Z., Sąsiadek S., Królak E.: Przegląd i ocena metod osuszania ścian, *Przegląd Budowlany* 4/1997.
- [112] Płoński W., Pogorzelski J. A., Zwoliński W.: Ochrona cieplna budowli. Materiały do projektowania, ITB, Warszawa 1973.
- [113] Płoński W.: Badania dyfuzji i kondensacji pary wodnej w przegrodach i elementach warstwowych. ITB, Warszawa 1965.
- [114] Pogorzelski J. A.: Fizyka cieplna budowli, PWN, Warszawa 1976.
- [115] Pogorzelski J.A.: Stan wilgotnościowy przegród budowlanych, *Materiały Budowlane* 4/2001.
- [116] Pożaryska K., Pożarski W.: Przewodnik geologiczny po Kazimierzu i okolicy, Wydawnictwo Muzeum Ziemi, Warszawa 1951.
- [117] Praca zbiorowa pod red. Kamińskiego M., Skalmowskiego W., Kamienie budowlane i drogowe, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1957.
- [118] Praca zbiorowa pod red. Krzowski Z.: Historia i współczesność górnictwa na terenie Lubelszczyzny, Politechnika Lubelska.
- [119] Praca zbiorowa pod redakcją Ważnego J., Karysia J. , Ochrona budynków przed korozją biologiczną Arkady, Warszawa 2001.
- [120] Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych, Praca zbiorowa pod redakcją Jasieńko J., Klimek A., Matkowski Z., Schabowicz K., Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006.
- [121] Rajczyk R., Rajczyk M.: Technologia robót kamieniarskich, wydaw. Politechnika Częstochowska, 1997.

- [122] Rokiel M.: Hydroizolacje w budownictwie, Wydawnictwo Medium, Warszawa 2009.
- [123] Rokiel M.: Instrukcja WTA nr 4-4-04 Iniekcje przeciw kapilarnie podciąganej wilgoci, Izolacje 10/2005.
- [124] Rościszewski P., Zielecka M.: Podstawy teoretyczne i wytyczne praktyczne hydrofobizacji materiałów budowlanych, Materiały Budowlane 1/1990.
- [125] Rydz Z., Turowski R.: Hydrofobizacja strukturalna mas tynkarskich i zapraw budowlanych za pomocą Hydrolitu, Materiały Budowlane, Vol. 3 1989.
- [126] Skalmowski W.: Naturalne i sztuczne materiały kamienne w budownictwie, wydaw. Budownictwo i Architektura, Warszawa 1965.
- [127] Skalmowski W.: Technologia materiałów budowlanych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1972.
- [128] Skarbek-Kowalski B.: Techniki iniekcyjne, Izolacje 2/2007.
- [129] Skibiński S., Jagodziński L.: Metoda badań i monitorowania stanu zawilgocenia murów, Ochrona i Konserwacja Zabytków Warszawa 6/1997.
- [130] Skibiński S.: Udział soli rozpuszczalnych w wodzie w procesach niszczenia kamiennych obiektów zabytkowych oraz konserwatorskie sposoby ograniczania ich działania, Ochrona Zabytków, Vol. 3-4 1985.
- [131] Szmygin B.: Ocena skuteczności zabezpieczenia murów przed nadmiernym zawilgoceniem na przykładzie domku gotyckiego w Puławach, Politechnika Lubelska.
- [132] Trochonowicz M., Ostańska A.: Błędy projektowe i wykonawcze iniekcyjnych metod osuszania, XI Konferencja Naukowo-Techniczna: Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych, Wrocław-Zamek Kliczków 2004.
- [133] Trochonowicz M.,.: Metody usuwania i neutralizacji soli w murach z materiałów ceramicznych (cz.2), Ceramika Budowlana, 01/2007.
- [134] Trochonowicz M.: Iniekcyjne osuszanie murów. Analiza błędów projektowych i wykonawczych, Renowacja budynków i modernizacja obszarów zabudowy, Zielona Góra 2005.
- [135] Trochonowicz M.: Korozja biologiczna w obiektach budowlanych, Wybrane zagadnienia ochrony i konserwacji zabytków architektury, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej Lublin 2007.
- [136] Trochonowicz M.: Osuszanie murów z zastosowaniem izolacji wtórnych w postaci przepon iniekcyjnych. Błędy projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne, Postęp i nowoczesność w konserwacji zabytków, Lublin 2005.
- [137] Trochonowicz M.: Problematyka oceny stanu wilgotnościowego w obiektach adaptowanych do współczesnych funkcji, Adaptacja obiektów zabytkowych do współczesnych funkcji użytkowych, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej Warszawa - Lublin 2009.

- [138] Trochonowicz M.: Skuteczność osuszania murów metodami nieinwazyjnymi – Analiza wybranych przykładów, Renowacja budynków i modernizacja obszarów zabudowy, Zielona Góra 2006.
- [139] Trochonowicz M.: Wilgoć obiektach budowlanych, Wybrane zagadnienia ochrony i konserwacji zabytków architektury, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej Lublin 2007.
- [140] Trochonowicz M.: Wpływ soli rozpuszczalnych w wodzie na ceramiczne materiały budowlane, Ceramika Budowlana, 04/2006.
- [141] Trochonowicz M.: Wpływ techniki poboru próbki na zniekształcenie wyniku pomiaru wilgotności, Renowacja budynków i modernizacja obszarów zabudowy, Zielona Góra 2007.
- [142] Trochonowicz M.: Zamek w Janowcu nad Wisłą. Ocena stanu wilgotnościowego i zasolenia murów. Politechnika Lubelska, Lublin 2006.
- [143] Wesołowska M.: Badanie skuteczności nowej metody osuszania murów pod nazwą AQUASTOP, Zeszyty naukowe ATR w Bydgoszczy – Budownictwo 1997.
- [144] Wesołowska M.: Elektrofizyczna metoda osuszania murów, Materiały Budowlane 6/1997.
- [145] Westfal L.: Skały węglanowe Polski, Renowacje i Zabytki 3/2007
- [146] Wójcik R.: Metody mechaniczne wykonywania hydroizolacji poziomych w budynkach istniejących, Materiały Budowlane 4/1999.
- [147] Wójcik R.: Odtworzenie izolacji poziomych metoda parafinową W – ART, Materiały Budowlane 4/1999.
- [148] Wójcik R.: Pomiary wilgotności przegród budowlanych, Materiały Budowlane 8/2002.
- [149] Wróblewski K.: Technologia iniekcji ciśnieniowej, Izolacje 10/2005.
- [150] WTA 1-2-91/D Der Echte Hausschwamm. Erkennung, Lebensbedingungen, vorbeugende Maßnahmen, bekämpfende chemische Maßnahmen, Leistungsverzeichnis.
- [151] WTA 2-9-04 Sanierputzsysteme
- [152] WTA 3-11-97/D Natursteinrestaurierung nach WTA III: Steinerergänzung mit Restauriermörteln und Steinersatzstoffen. Ersatz für Merkblatt 3-6-93/D.
- [153] WTA 4-4-04 Mauerwerksinjektionen gegen kapillare Feuchtigkeit
- [154] WTA 4-5-99 Beurteilung von Mauerwerk- Mauerwerkdiagnostik
- [155] WTA 4-6-05 Nachtragliches Abdichtungen erdberührter Bauteile
- [156] WTA Merkblatt 4-11-02 Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen.
- [157] Wyrwał J., Świniarska J.: Problemy zawilgocenia przegród budowlanych, PAN, Warszawa 1998.

- [158] Wyrwał J.: Ruch wilgoci w porowatych materiałach i przegrodach budowlanych. Studia i Monografie z.31, Wydawnictwo W.S.I. w Opolu, Opole 1989.
- [159] Zakrzewski T.: Zagadnienia fizyczne w budownictwie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [160] Żenczykowski W.: Budownictwo ogólne, Tom I Arkady - Warszawa 1964.

Normy i akty prawne

- [161] PN-66/B-04100 Materiały kamienne. Oznaczanie gęstości objętościowej, gęstości, porowatości i szczelności
- [162] PN-84/B-01080 Kamień dla budownictwa i drogownictwa. Podział i zastosowanie według własności fizyczno-mechanicznych
- [163] PN-84/B-04110 Materiały kamienne. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie
- [164] PN-84/B-04111 Materiały kamienne. Oznaczanie ścieralności na tarczy Boehmego
- [165] PN-85 B-04101 Oznaczanie nasiąkliwości wodą
- [166] PN-85 B-04500 Zaprawy budowlane Badania cech fizycznych i wytrzymałościowych
- [167] PN-85/B-04101 Materiały kamienne. Oznaczanie nasiąkliwości wodą
- [168] PN-85/B-04102 Materiały kamienne. Oznaczanie mrozoodporności metodą bezpośrednią
- [169] PN-85/B-06720 Pobieranie próbek materiałów kamiennych zwięzłych
- [170] PN-88/B-04120 Kamień budowlany. Podział, pojęcia podstawowe, nazwy i określenia
- [171] PN-90 B-14501 Zaprawy budowlane zwykłe
- [172] PN-B-11200:1996 Materiały kamienne. Bloki, formaki, płyty surowe
- [173] PN-B-11209:1996 Materiały kamienne. Kamień łupany
- [174] PN-B-11210:1996 Materiały kamienne. Kamień łamany
- [175] PN-B-11211:1997 Materiały kamienne. Elementy kamienne łupane do licowania ścian
- [176] PN-B-11215:1998 Materiały kamienne. Metody pomiaru cech geometrycznych i właściwości fizycznych wyrobów z kamienia
- [177] PN-EN 1015-11:2001/A1:2007 Metody badań zapraw do murów - Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy
- [178] PN-EN 1015-18:2003 Metody badań zapraw do murów - Część 18: Określenie współczynnika absorpcji wody spowodowanej podciąganiem kapilarnym stwardniałej zaprawy

-
- [179] PN-EN 12370:2001 Metody badań kamienia naturalnego - Oznaczanie odporności na krystalizację soli
- [180] PN-EN 12371:2002 Metody badań kamienia naturalnego - Oznaczanie mrozoodporności
- [181] PN-EN 12372:2001 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie pod wpływem siły skupionej
- [182] PN-EN 12407:2001 Metody badań kamienia naturalnego - Badania petrograficzne
- [183] PN-EN 12440:2002 Kamień naturalny - Kryteria mianownictwa
- [184] PN-EN 12670:2002 Kamień naturalny – Terminologia
- [185] PN-EN 13161:2002 Metody badań kamienia naturalnego - Oznaczanie wytrzymałości na zginanie przy stałym momencie
- [186] PN-EN 13373:2004 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie właściwości geometrycznych elementów.
- [187] PN-EN 13755:2002/AC:2004 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym
- [188] PN-EN 13919:2004 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie odporności na starzenie spowodowane działaniem SO₂ w obecności wilgoci
- [189] PN-EN 14066:2004 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie odporności na starzenie spowodowane szokiem termicznym.
- [190] PN-EN 14146:2005 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie dynamicznego modułu sprężystości (pomiar podstawowej częstotliwości rezonansowej)
- [191] PN-EN 14147:2004 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie odporności na starzenie pod działaniem mgły solnej.
- [192] PN-EN 14157:2005 Kamień naturalny. Oznaczanie odporności na ścieranie
- [193] PN-EN 14205:2004 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie twardości według Knoop.
- [194] PN-EN 14231:2004 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie odporności na poślizg z użyciem przyrządu wahadłowego.
- [195] PN-EN 14579:2005 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie prędkości rozchodzenia się dźwięku
- [196] PN-EN 14580:2005U Metody badań kamienia naturalnego - Oznaczanie statycznego modułu sprężystości
- [197] PN-EN 14581:2005U Metody badań kamienia naturalnego - Oznaczanie współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej
- [198] PN-EN 1468:2005 Kamień naturalny. Bloki surowe. Wymagania.
- [199] PN-EN 1925:2001 Metody badań kamienia naturalnego - Oznaczanie współczynnika nasiąkliwości kapilarnej

- [200] PN-EN 1926:2001 Metody badań kamienia naturalnego - Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie
- [201] PN-EN 1936:2001 Metody badań kamienia naturalnego - Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości
- [202] PN-EN 771-6:2002 Wymagania dotyczące elementów murowych - Część 6: Elementy murowe z kamienia naturalnego
- [203] PN-EN 772-11:2002 Metody badań elementów murowych - Część 11: Określenie absorpcji wody elementów murowych z betonu kruszywowego, kamienia sztucznego i kamienia naturalnego spowodowanej podciąganiem kapilarnym oraz początkowej absorpcji wody elementów murowych ceramicznych
- [204] PN-EN 772-4:2001 Metody badań elementów murowych - Część 4: Określenie gęstości, gęstości objętościowej oraz porowatości całkowitej i otwartej elementów murowych z kamienia naturalnego
- [205] PN-EN 998-2:2004/Ap1:2008 Wymagania dotyczące zapraw do murów - Część 2: Zaprawa murarska
- [206] PN-EN ISO 12570 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie wilgotności przez suszenie w podwyższonej temperaturze.

Inne

- [207] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Kompresor>
- [208] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Pompa>
- [209] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Pompa-membranowa>
- [210] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Pompa-tłokowa>
- [211] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Pompa-wyporowa>
- [212] <http://www.tapflo.com.pl/p-srubowe.html>
- [213] Instrukcja Aquamerck® 111106 test na chlorki
- [214] Instrukcja Aquamerck® 111170 test na azotany
- [215] Instrukcja Aquaquant® 14411 test na siarczany
- [216] Instrukcja obsługi miernika firmy Introl
- [217] Instrukcja obsługi wagosuszarki MAX 50/1
- [218] Instrukcja obsługi wilgotnościomierza materiałów LB-795
- [219] Instrukcja obsługi wilgotnościomierza materiałów LB-796
- [220] Instrukcja obsługi wilgotnościomierza Timbermaster®
- [221] Materiały firmy Aquapol Polska

- [222] Materiały firmy BOSCH
- [223] Materiały firmy Ceteco
- [224] Materiały firmy Deitermann
- [225] Materiały firmy DESOI
- [226] Materiały firmy Henkel
- [227] Materiały firmy HILTI
- [228] Materiały firmy HYDROSTOP
- [229] Materiały firmy Izomur
- [230] Materiały firmy Mapei
- [231] Materiały firmy MC Bauchemie
- [232] Materiały firmy Remmers
- [233] Materiały firmy Schomburg
- [234] Materiały firmy SIKA
- [235] Materiały firmy STO
- [236] Materiały firmy TIKAL
- [237] Materiały firmy WEBAC
- [238] ZUAT-15/IV.18/2005 Wyroby bitumiczno-mineralne przeznaczone do wykonywania powłok hydroizolacyjnych.
- [239] ZUAT-15/VI.11-2/2001 Preparaty do powierzchniowej hydrofobizacji wyrobów budowlanych. Cz. 2 : Wyroby ceramiczne.
- [240] ZUAT-15/VI.11-3/2003 Preparaty do powierzchniowej hydrofobizacji wyrobów budowlanych. Cz. 3: Kamienie budowlane.
- [241] ZUAT-15/VI.11-4/2005 Preparaty do powierzchniowej hydrofobizacji wyrobów budowlanych. Cz. 4: Zaprawy cementowe, cementowo-wapienne i wapienne.

13. ZAŁĄCZNIKI

13.1. ZAŁĄCZNIK 1 - KARTY PRODUKTÓW

Deitermann Adexin®HS

Producent	Deitermann	
Nazwa preparatu	Adexin®HS	
Baza	Krzemian potasowy	
Przeznaczenie	Uszczelniający, hydrofobowy, ciekły preparat chemiczny do wykonywania izolacji poziomej i impregnacji	
Numer karty (wydanie)	Instrukcja 19.07.2001	
pH	-	
Kolor	Przeźroczysty	
Gęstość	1,05 kg/dm ³	
Lepkość	-	
Trwałość składowania	Do 12 miesięcy	
Temperatura stosowania	-	
Rodzaj Iniekcji	Grawitacyjna Niskociśnieniowa Impregnacja przez malowanie	
Średnica otworów	Grawitacyjna	30 mm
	Niskociśnieniowa	12mm
Rozstaw otworów	10-12cm	
Kąt	Grawitacyjna	25-45°
	Niskociśnieniowa	25-45°
Ciśnienie	Niskociśnieniowa do 10 bar	
Sposób przygotowania podłoża	Otwory oczyścić	
Materiał doszczelniający	Cerinol BSP	
Ilość Składników	1	
Proporcja mieszania składników	-	
Zużycie iniektu	Grubość ściany [cm]	Zużycie koncentratu [kg/mb muru]
	30	6-15
	40	8-20
	50	10-25
Czas reakcji	-	
Forma Dostawy	20 i 200 kilogramowe pojemniki	
Uwagi	-	

Deitermann Adexin®HS2

Producent	Deitermann	
Nazwa preparatu	Adexin®HS 2	
Baza	Żywica silikonowa	
Przeznaczenie	Nasycenie bezciśnieniowe lub iniekcja przy użyciu niskiego ciśnieniowa	
Numer karty (wydanie)	Instrukcja 08.03.2006	
Ph	-	
Kolor	Przeźroczysty	
Gęstość	0,95 g/cm ³	
Lepkość	-	
Trwałość składowania	Do 12 miesięcy	
Temperatura stosowania	-	
Rodzaj Iniekcji	Grawitacyjna Niskociśnieniowa Dwustopniowa	
Średnica otworów	Grawitacyjna	30 mm
	Niskociśnieniowa	12mm
	Dwustopniowa	18mm
Rozstaw otworów	10-12cm	
Kąt	Grawitacyjna	25-45°
	Niskociśnieniowa	25-45°
	Dwustopniowa	15-20°
Ciśnienie	Niskociśnieniowa	do 10 bar
	Dwustopniowa	15do 20 bar
Sposób przygotowania podłoża	Otwory oczyścić	
Materiał doszczelniający	Cerinol BSP	
Ilość Składników	2	
Proporcja mieszania składników	1:9 do 1:14	
Zużycie iniektu	Grubość ściany [cm]	Zużycie koncentratu [l/mb muru]
	40	0,8-2,0
	60	1,2-3,0
	80	1,6-4,0
	100	2,0-5,0
Czas reakcji	-	
Forma Dostawy	5 i 20 litrowe pojemniki	
Uwagi	-	

Izomur

Producent	Izomur
Nazwa preparatu	Izomur
Baza	Spirytusu etylowego i żywica silikonowa
Przeznaczenie	Preparat do osuszania, odgrzybiania oraz zabezpieczania ścian przed ponownym zawilgoceniem i porażeniem pleśniami
Numer karty (wydanie)	-
Ph	-
Kolor	-
Gęstość	-
Lepkość	-
Trwałość składowania	Preparat należy przechowywać w oryginalnych pojemnikach szczelnie zamkniętych w temperaturze nie przekraczającej 24 °C
Temperatura stosowania	-
Rodzaj Iniekcji	Malowanie Metoda Iniekcji
Średnica otworów	18-23mm
Rozstaw otworów	20-25cm
Kąt	30-45o
Ciśnienie	-
Sposób przygotowania podłoża	Osuszenie ścian gorącym powietrzem i odprowadzenie wody z murów za pomocą specjalnych urządzeń
Materiał doszczelniający	Suchy cement
Ilość Składników	1
Proporcja mieszania składników	0
Zużycie iniektu	10 litrów na 1m2 przekroju ściany przy podwójnym szeregu otworów 5 litrów na 1m2 przekroju ściany przy pojedynczym szeregu otworów
Czas reakcji	-
Forma Dostawy	1,2,5,10,20,30,30,50 i 200 litrowe pojemniki
Uwagi	Wykonanie pionowych izolacji ścian metodą „hydrofobową” w przypadku, gdy wykonawcą nie jest zakład osuszania i odgrzybiania obiektów budowlanych „Izomur” musi być poprzedzony ekspertyzą mykologiczną

MC Bauchemie - Oxal HSP

Producent	MC Bauchemie
Nazwa preparatu	Oxal HSP
Baza	Krzemianowa modyfikowana silikonem
Przeznaczenie	Do uszczelniania poziomego murów przed podciąganiem wilgoci z podłoża metodą otworów wierconych
Numer karty (wydanie)	21.04.2008
Ph	-
Kolor	bezbarwny
Gęstość	1,26 g/cm ³
Lepkość	-
Trwałość składowania	Do 6 miesięcy
Temperatura stosowania	+5°C
Rodzaj Iniekcji	Metoda bezciśnieniowa Metoda niskociśnieniowa
Średnica otworów	Metoda bezciśnieniowa min 20mm Metoda niskociśnieniowa 18 mm
Rozstaw otworów	Metoda bezciśnieniowa 10cm Metoda niskociśnieniowa 10-12cm
Kąt	Metoda bezciśnieniowa 30° - 45° Metoda niskociśnieniowa 30° - 45°
Ciśnienie	max 10 bar
Sposób przygotowania podłoża	Nawierty prowadzimy w murze - poniżej stropu piwnicznego, lecz co najmniej 10 cm ponad gruntem. Rząd otworów musi krzyżować się, z co najmniej jedną fugą (optymalne są dwie). Otwory należy oczyścić sprężonym powietrzem, a następnie w przypadku suchego muru otwory należy najpierw zmoczyć.
Materiał doszczelniający	Oxalem BS-V
Ilość Składników	1
Proporcja mieszania składników	-
Zużycie iniektu	ok. 1,6 – 3,2 kg/m ściany grubości 10cm
Czas reakcji	ok. 12 przy +20°C i względnej wilgotności powietrza 85%
Forma Dostawy	Kanister 30 kg 1 Paleta (16 kanistrów po 30 kg)
Uwagi	Wszystkie informacje zawarte w niniejszej karcie katalogowej wynikają z naszych doświadczeń i najlepszej wiedzy, jednak nie są wiążące. Należy je dostosować do danego obiektu budowlanego, celu zastosowania domieszki i lokalnych warunków eksploatacji obiektu. Oznacza to, że odpowiadamy za prawidłowość tych danych jedynie w zakresie naszych warunków sprzedaży i dostawy. Zalecenia naszych współpracowników odbiegające od danych z naszych instrukcji są dla nas wiążące tylko wtedy, gdy są potwierdzone pisemnie.

MC Bauchemie - Oxal HSP-ME

Producent	MC Bauchemie
Nazwa preparatu	Oxal HSP-ME
Baza	Emulsja silikonowa
Przeznaczenie	Do uszczelniania poziomego murów przed podciąganiem wilgoci z podłoża metodą otworów wierconych
Numer karty (wydanie)	02.2007
Ph	-
Kolor	-
Gęstość	0,98 g/cm ³
Lepkość	-
Trwałość składowania	Do 6 miesięcy
Temperatura stosowania	+5°C
Rodzaj Iniekcji	Metoda bezciśnieniowa Metoda niskociśnieniowa
Średnica otworów	Metoda bezciśnieniowa min 20mm Metoda niskociśnieniowa 18 mm
Rozstaw otworów	Metoda bezciśnieniowa 10cm Metoda niskociśnieniowa 10-12cm
Kąt	Metoda bezciśnieniowa 30° - 45° Metoda niskociśnieniowa 30° - 45°
Ciśnienie	max 10 bar
Sposób przygotowania podłoża	Nawierty prowadzimy w murze - poniżej stropu piwnicznego, lecz co najmniej 10 cm ponad gruntem. Rząd otworów musi krzyżować się, z co najmniej jedną fugą (optymalne są dwie). Otwory należy oczyścić sprężonym powietrzem, a następnie w przypadku suchego muru otwory należy najpierw zmoczyć.
Materiał doszczelniający	Oxalem BS-V
Ilość Składników	2
Proporcja mieszania składników	1 : 1 1 : 8 – 1 : 14 Oxal HSP-ME : woda w zależności od stopnia zawilgocenia podłoża
Zużycie iniektu	ok. 2,0 – 4,0 l/m ściany grubości 10cm
Czas reakcji	ok. 12 przy +20°C i względnej wilgotności powietrza 65%
Forma Dostawy	Kanister 30 kg 1 Paleta (16 kanistrów po 30 kg)
Uwagi	Wszystkie informacje zawarte w niniejszej karcie katalogowej wynikają z naszych doświadczeń i najlepszej wiedzy, jednak nie są wiążące. Należy je dostosować do danego obiektu budowlanego, celu zastosowania domieszki i lokalnych warunków eksploatacji obiektu. Oznacza to, że odpowiadamy za prawidłowość tych danych jedynie w zakresie naszych warunków sprzedaży i dostawy. Zalecenia naszych współpracowników odbiegające od danych z naszych instrukcji są dla nas wiążące tylko wtedy, gdy są potwierdzone pisemnie.

MC Bauchemie - Oxal HSL

Producent	MC Bauchemie
Nazwa preparatu	Oxal HSL
Baza	Emulsja silikonowa
Przeznaczenie	Preparat do wykonania izolacji poziomych wtórnych
Numer karty (wydanie)	-
Ph	-
Kolor	-
Gęstość	0,98 g/cm ³
Lepkość	-
Trwałość składowania	Do 12 miesięcy
Temperatura stosowania	+5°C
Rodzaj Iniekcji	-
Średnica otworów	-
Rozstaw otworów	-
Kąt	-
Ciśnienie	max 10 bar
Sposób przygotowania podłoża	W zależności od rodzaju podłoża należy odpowiednio wykonać otwory, pamiętając aby ich rozmieszczenie umożliwiło dokładną iniekcję przez cały przekrój ściany.
Materiał doszczelniający	Oxalem BS-V lub VPIT
Ilość Składników	2
Proporcja mieszania składników	1 : 6 – 1 : 20 Oxal HSL: woda w zależności od stopnia zawilgocenia podłoża
Zużycie iniektu	ok. 2,0 – 4,0 l/m
Czas reakcji	ok. 24godzin przy +20°C i względnej wilgotności powietrza 65%
Forma Dostawy	Kanister 10 lub 30l 1 Paleta (16 kanistrów po 30 l)
Uwagi	Podczas prac z zastosowaniem produktu Oxal HSL należy stosować odpowiednie przepisy BHP, zadbać o odpowiednią odzież, rękawice i okulary ochronne. Należy przestrzegać informacji, zawartych w karcie bezpieczeństwa produktu.

Remmers – Kiesol

Producent	Remmers
Nazwa preparatu	Kiesol
Baza	Hydrofobowe związki kwasu krzemowego
Przeznaczenie	Preparat krzemionkujący o działaniu wgłębnym przeznaczony do uszczelniania i renowacji w systemie Kiesol, w budowlach istniejących i nowo budowanych
Numer karty (wydanie)	Instrukcja Techniczna Numer artykułu 1810
Ph	11
Kolor	-
Gęstość	około 1,15 g/cm ³
Lepkość	-
Trwałość składowania	W zamkniętych pojemnikach conajmniej 3 lata
Temperatura stosowania	-
Rodzaj Iniekcji	Iniekcja grwitaryjna Iniekcja niskociśnieniowa Uszczelnienie powierzchniowe
Średnica otworów	10-30mm
Rozstaw otworów	10-12,5cm
Kąt	25°
Ciśnienie	Iniekcja niskociśnieniowa 4-8 bar
Sposób przygotowania podłoża	Stary tynk należy usunąć na co najmniej 80 cm powyżej rozpoznawalnej krawędzi zawilgocenia. Miękkie względnie uszkodzone spoiny usunąć na głębokość 2 cm. Otwarte spoiny wypełnić zaprawą Remmers Bohrlochsuspension
Materiał doszczelniający	Remmers Bohrlochsuspension
Ilość Składników	1
Proporcja mieszania składników	-
Zużycie iniektu	Na każde 10 cm grubości ściany/ 1 m długości zużycie wynosi ok. 0,4 l/m
Czas reakcji	-
Forma Dostawy	Kanister 1 kg, 5 kg, 10 kg i 30 kg
Uwagi	Bliższe informacje na temat bezpieczeństwa składowania i stosowania oraz na temat usuwania i ochrony środowiska znajdują się w aktualnej karcie charakterystyki produktu.

Remmers - Funcosil SL

Producent	Remmers
Nazwa preparatu	Funcosil SL
Baza	alkiloalkoksylaksa
Przeznaczenie	Reaktywny, oligomeryczny roztwór siloksanowy przeznaczony do hydrofobizującej impregnacji mineralnych materiałów budowlanych, opracowany specjalnie do hydrofobizacji kamieni naturalnych, zwłaszcza wapieni.
Numer karty (wydanie)	Instrukcja Techniczna 0608 IT 02.07
Ph	-
Kolor	bezbarwny
Gęstość	około 0,79 g/cm ³
Lepkość	44 sek. w kubku DIN 2; 10 sek. w kubku DIN 4
Trwałość składowania	W oryginalnych, zamkniętych pojemnikach, w miejscu chłodnym i suchym co najmniej 2 lata.
Temperatura stosowania	+5°C i +25°C.
Rodzaj Iniekcji	Metoda polewania bezciśnieniowego
Średnica otworów	-
Rozstaw otworów	-
Kąt	-
Ciśnienie	-
Sposób przygotowania podłoża	Do czyszczenia powierzchni należy stosować jak najdelikatniejsze metody, np. natryskiwanie zimną względnie gorącą wodą lub czyszczenie parą wodną a w przypadku trudnych do usunięcia zabrudzeń pastę czyszczącą Alkutex Fassadenreiniger Paste
Materiał doszczelniający	Funcosil Restauriermörtel
Ilość Składników	1
Proporcja mieszania składników	-
Zużycie iniektu	Kamień naturalny (drobnoporowaty): 0,2 - 0,5 l/m ² Kamień naturalny (wielkoporowaty): 0,4 - 1,5 l/m ²
Czas reakcji	-
Forma Dostawy	Kanistry z blachy: 5 l i 30 l
Uwagi	Powyższe wskazówki zostały zestawione w naszym dziale produkcji według najnowszego stanu wiedzy i techniki stosowania. Ponieważ rodzaje zastosowań i sposób użycia są poza naszą kontrolą, z treści tej instrukcji nie wynika żadna odpowiedzialność producenta. Wskazówki wykraczające poza zawartość tej instrukcji lub wskazówki różniące się od treści instrukcji wymagają pisemnego potwierdzenia przez zakład macierzysty.

SCHOMBURG - AQUAFIN®-F

Producent	SCHOMBURG
Nazwa preparatu	AQUAFIN®-F
Baza	związki krzemu
Przeznaczenie	AQUAFIN-F jest stosowany w przypadkach, gdzie konieczne jest zlikwidowanie efektu kapilarnego podciągania wody poprzez wykonanie przepony poziomej. AQUAFIN-F może być stosowany do wykonywania przepony w murach całkowicie przesiąkniętych wilgocią.
Numer karty (wydanie)	Instrukcja Techniczna Nr art. 214247/57
Ph	12,2
Kolor	bezbarwny
Gęstość	1,3 g/cm ³
Lepkość	-
Trwałość składowania	24 miesiące
Temperatura stosowania	-
Rodzaj Iniekcji	Metoda grawitacyjna Metoda ciśnieniowa
Średnica otworów	Metoda grawitacyjna 30mm Metoda ciśnieniowa 18mm
Rozstaw otworów	10-12,5cm
Kąt	Metoda grawitacyjna 30°- 45° Metoda ciśnieniowa 0°- 30°
Ciśnienie	0,2-0,4 MPa.
Sposób przygotowania podłoża	Otwory odpylić przed rozpoczęciem iniekcji
Materiał doszczelniający	AQUAFIN-2K
Ilość Składników	1
Proporcja mieszania składników	-
Zużycie iniektu	Jest zależne od chłonności muru i może być ustalone przez wykonanie prób, skuteczność przepony jest gwarantowana przy minimalnym zużyciu preparatu wynoszącym 15 kg/m ² przekroju poziomego jednorodnego muru
Czas reakcji	-
Forma Dostawy	-
Uwagi	Podstawą prac renowacyjnych są badania wstępne określenie przyczyn i źródeł zawilgocenia oraz wilgotności muru, określenie wysokości podciągania kapilarnego, analiza ilościowo-jakościowa zawartości szkodliwych soli budowlanych itp.) AQUAFIN-F nie nadaje się do powierzchniowej impregnacji i zabezpieczenia muru.

SCHOMBURG - AQUAFIN®-IB2

Producent	SCHOMBURG	
Nazwa preparatu	AQUAFIN®-IB2	
Baza	Siloksany	
Przeznaczenie	Do wykonywania przepony poziomej chroniącej przed podciąganiem kapilarnym wody w materiałach porowatych Jako powierzchniowy środek impregnujący porowate materiały budowlane takie jak np: cegła, klinkier, kamień naturalny, tynk	
Numer karty (wydanie)	Instrukcja Techniczna Nr art. 204200	
Ph	-	
Kolor	Przezroczysty do jasnożółtego	
Gęstość	1,05 g/cm ³	
Lepkość	-	
Trwałość składowania	Materiału nierozciezczonego:12 miesiące Materiału rozcieńczonego wodą:12 miesiące z wodą destylowaną 2 miesiące z wodą pitną	
Temperatura stosowania	+5°C do +30°C	
Rodzaj Iniekcji	Metoda grawitacyjna Metoda ciśnieniowa	
Średnica otworów	Metoda grawitacyjna 30mm Metoda ciśnieniowa zależy od zastosowanej metody	
Rozstaw otworów	10-12,5cm	
Kąt	Metoda grawitacyjna 30°- 45° Metoda ciśnieniowa 0°- 45°	
Ciśnienie	0,2-0,4 MPa.	
Sposób przygotowania podłoża	Otwory odpylić przed rozpoczęciem iniekcji	
Materiał doszczelniający	AQUAFIN-2K	
Ilość Składników	2	
Proporcja mieszania składników	Obszar stosowania	Koncentrat : woda
	Stopień nasycenia muru 95%	1:12
	Stopień nasycenia muru 60%	1:16
	Stopień nasycenia muru <50%	<1:20
Zużycie iniektu	Obszar stosowania	Zużycie koncentratu/m ²
	Stopień nasycenia muru 95%	1,2
	Stopień nasycenia muru 60%	0,9
	Stopień nasycenia muru <50%	0,7
Czas reakcji	-	
Forma Dostawy	pojemniki 1 l, 5 l, 10 l, 25 l	
Uwagi	Zawsze należy dolewać AQUAFIN®-IB2 do wody! Nigdy nie dolewaj wody do produktu AQUAFIN®-IB2, ponieważ mieszanina może ulec żelowaniu.!	

STO - StoMurisol Micro

Producent	STO
Nazwa preparatu	StoMurisol Micro
Baza	Mikroemulsja silikonowa
Przeznaczenie	Do wykonywania na istniejących obiektach poziomej izolacji zabezpieczającej przed kapilarnym podciąganiem wilgoci
Numer karty (wydanie)	Instrukcja Techniczna Wersja: 2 / 03.2005
Ph	5-6
Kolor	Jasny, transparentny
Gęstość	1,195 g/cm ³
Lepkość	7 mm pas/sek.
Trwałość składowania	12 miesięcy
Temperatura stosowania	Min +5°C
Rodzaj Iniekcji	Metoda grawitacyjna Metoda ciśnieniowa
Średnica otworów	18-20mm
Rozstaw otworów	10-12cm
Kąt	10°-15°
Ciśnienie	-
Sposób przygotowania podłoża	Otwory należy oczyścić za pomocą sprężonego powietrza tak, by zanieczyszczenia nie utrudniały penetracji środka iniekcyjnego.
Materiał doszczelniający	StoMurisol BS.
Ilość Składników	2
Proporcja mieszania składników	Środek StoMurisol Micro rozcieńczany jest wodą w proporcji 1:7 do 1:14
Zużycie iniektu	Nierozcieńczony na m ² przekroju muru 1,0 – 2,0 l/m ²
Czas reakcji	-
Forma Dostawy	Kanister 20 l
Uwagi	Produkt oznaczony zgodnie z wytycznymi EU. Szczegółowe informacje dot. obchodzenia się z materiałem, składowania i usuwania znajdują się w Karcie Charakterystyki Preparatu Niebezpiecznego. Zastosowania nie wymienione w niniejszej Instrukcji Technicznej należy skonsultować z przedstawicielem Sto-ispo Sp. z o.o.

13.2. ZAŁĄCZNIK 2 – BADANIA OBIEKTÓW

KARTA OBIEKTU - I

CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA

Typ obiektu	Budynek mieszkalny
Adres	Kazimierz Dolny, ul. Góra Kwaskowa 16
Przeznaczenie pierwotne	Dom mieszkalny
Użytkowanie obecne	Dom mieszkalny jednorodzinny
Użytkownik	Poniatowska Irena
Ilość kondygnacji nadziemnych	1
Podpiwniczenie budynku	Podpiwniczenie budynku na całej jego powierzchni.
Przeznaczenie poddasza	Poddasze użytkowe zamieszkałe.
Data powstania	Budynek powstał ok. 1952 roku.
Przeprowadzone remonty i przebudowy	W 2004 roku wykonano izolację pionową na elewacji północnej i częściowo na wschodniej.

ARCHITEKTURA I DETALE ARCHITEKTONICZNE

Bryła budynku	Budynek założony na planie prostokąta.
Cechy charakterystyczne w układzie przestrzennym	Budynek wolnostojący.
Wątek murowy	Mury wykonane z kamienia łamanego sortowanego posiadają dwie powierzchnie mniej lub więcej równoległe do siebie oraz trzecią w przybliżeniu prostopadłą do nich
Detale dekoracyjne	Elementami dekoracyjnymi jest wykończenie krawędzi wnęki okiennej i drzwiowej oraz naroży budynków cegłą piaskowo-wapienną, gzymsy murowane z cegły ceramicznej pełnej.
Ilość otworów wejściowych do budynku	3
Wejście główne od strony	Wejście do budynku znajduje się od strony południowej, od podwórza
Ilość otworów okiennych	15

CZĘŚĆ KONSTRUKCYJNO-BUDOWLANA

Fundamenty i ściany fundamentowe	Fundamenty betonowe wylewane. Ściany fundamentowe do poziomu terenu i nieco wyżej wykonane z cegły piaskowo-wapiennej następnie kontynuowane kamieniem wapiennym.
Ściany zewnętrzne	Ściany zewnętrzne wykonane z kamienia wapiennego z przemurowaniami z cegły piaskowo-wapiennej, ściany szczytowe wykonane z cegły ceramicznej pełnej.
Konstrukcja stropów	Strop Kleina na belkach dwuteowych o rozstawie co 120cm.

Schody	Schody wewnętrzne drewniane jednobiegowe.
Typ dachu i pokrycie	Dach dwuspadowy, konstrukcja dachu drewniana typu krokwiowo jętkowego. Dach pokryty płytą falistą azbestowo-cementową. Dach posiada dwie lukarny (po jednej na każdej z połaci).
Balkony	Brak
Kominy	Dwa kominy wymurowane z cegły ceramicznej pełnej.
Typ nadproży	Nadproża maskowane przez wykonanie z cegły piaskowo-wapiennej lub ceramicznej od strony zewnętrznej natomiast część nośna wykonana z belki żelbetowej.
Podłoga piwnic	Posadzka betonowa, na części podpiwniczenia podłoga wykończona płytkami ceramicznymi.
Posadzki i podłogi kondygnacji naziemnych	Podłoga na legarach.
Typ stolarki drzwiowej	Drzwi zewnętrzne drewniane, jednoskrzydłowe.
Typ stolarki okiennej	Drewniane skrzynkowe (pokryte farbą olejną, szklone podwójnie).
Tynki zewnętrzne	Brak
Tynki wewnętrzne	Cementowo-wapienne wykończone gładzią gipsową.
Izolacje poziome	Izolacja wykonana z 2 warstw papy asfaltowej na lepiku asfaltowym.
Izolacje pionowe	Na elewacji północnej ściana zabezpieczona masą bitumiczną i odizolowana folią kubełkową.

INSTALACJE

Instalacji grzewcza	Instalacja centralnego ogrzewania – piec węglowy.
Instalacja wod.-kan.	Tak
Wentylacja	grawitacyjna
Instalacja elektryczna	Tak

SYSTEM ODWODNIENIA

Rynny i rury spustowe	Z blachy ocynkowanej
Obróbki blacharskie	Brak
Cokół	Brak
Opaska	Częściowo z płyt betonowych o wym. 30x30 cm, częściowo z betonu wylewanego.
Styk opaski z cokołem	Opaska na całej długości obwodu budynku jest odspojona od muru.
Sposób odprowadzania wody opadowej poza budynek	Woda opadowa z dachu odprowadzana jest za pomocą zbyt krótkich rur spustowych (koniec rury na wysokości ok. 60 cm od opaski) powoduje to znaczne zawilgocenie ścian w pobliżu rury spowodowane rozbryzgiwaniem się wody o opaskę odwadniającą i zachlapywanie ściany.
Inne uwagi	Brak prawidłowego zakończenia izolacji pionowej (woda spływająca po ścianach zacieka za folie kubełkową).

STAN ZACHOWANIA BUDYNKU

Występowanie rys i spękań	Brak widocznych zarysowań lub spękań ścian zewnętrznych.
Ubytki w strukturze muru	Stwierdzono nieliczne braki kamienia w pasie przyziemia oraz wykruszanie się spoiwa cementowo-wapiennego do wysokości 80cm .
Stan zachowania systemu odwodnienia	Widoczna korozja rynien oraz zdeformowanie linii spadku wody powodujące zaleganie jej w rynnach. Brak jednolitego połączenia opaski z murem i jej ciągłości.
Zawilgocenie	Do wysokości izolacji poziomej można zaobserwować ciemniejszą barwę cegły piaskowo-wapiennej oraz w obszarze rur spustowych na wysokości ok. 1m ciemniejszą barwę kamienia wapiennego spowodowane jest to podwyższoną wilgotnością.
Zasolenie	Nie stwierdzono widocznych śladów zasolenia.
Korozja biologiczna	W narożu północno-zachodnim z powodu zwiększonej wilgotności rozwiną się mech na cegle piaskowo-wapiennej.
Inne zauważone zjawiska	Brak
Inne uwagi dotyczące obiektu	Brak uwag.

STOPIEŃ ZAWILGOCENIA BUDYNKU

Badanie przeprowadzono w czterech punktach zaczynając od lewej strony dla każdej elewacji. Pomiaru dokonano z zewnątrz budynku.		Wartości zawilgocenia [%]					
		Numer punktu pomiarowego	Wysokość punktu pomiarowego [m]				
			+/-0,0	+0,5	+1,0	+1,5	
0-3 %	Mury o dopuszczalnej wilgotności	S	1	5,6	4,3	4,5	4,8
			2	5,8	4,1	4,7	4,7
			3	6,6	5,3	4,8	3,6
			4	6,4	5,3	4,7	5,2
3-5 %	Mury o podwyższonej wilgotności	E	5	7,2	4,5	4,9	4,7
			6	6,2	5,6	4,9	3,6
			7	8,7	8,1	5,9	4,7
			8	12,1	10,2	14,3	10,2
5-8 %	Mury średnio zawilgocone	N	9	16,6	14,8	16,8	12,7
			10	17,6	18,9	8,3	9,7
			11	23,2	22,1	16,7	9,7
			12	26,7	25,7	14,2	8,5
8-12 %	Mury mocno zawilgocone	W	13	22,1	15,4	9,8	12,3
			14	17,8	12,6	12,4	8,6
			15	8,7	10,2	8,3	3,6
			16	7,2	5,7	5,1	3,5
>12 %	Mury mokre						

DOKUMENTACJA FOTOGRAFICZNA



Rys. 13.1 Elewacja południowa.



Rys. 13.2 Elewacja wschodnia



Rys. 13.3 Elewacja północna



Rys. 13.4 Elewacja zachodnia



Rys. 13.5 Folia kubelkowa pełniąca rolę izolacji pionowej



Rys. 13.6 Zawilgocenie ściany w pobliżu rury spustowej

	
Rys. 13.7 Zawilgocenie narożnika północno – zachodniego.	Rys. 13.8 Ubytki w spoinach mury

KARTA OBIEKTU - II

CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA

Typ obiektu	Wiatrak holenderski.
Adres	Piaski, GM. Piaski ul. Partyzantów 19
Przeznaczenie pierwotne	Wiatrak.
Użytkowanie obecne	Obecnie nie użytkowany. Obiekt zabytkowy.
Użytkownik	Użyteczność publiczna.
Ilość kondygnacji naziemnych	2 kondygnacje nadziemne.
Podpiwniczenie budynku	Brak.
Przeznaczenie poddasza	brak.
Data powstania	Około 1898r.
Przeprowadzone remonty i przebudowy	Wiatrak przeszedł wiele remontów od czasu powstania. Początkowo miał on ruchomy dach ze śmigłami który pozwalał na ustawienie dachu do kierunku wiatru co ułatwiało pracę młynarza. Początkowo dach pokryty był gontem. Po wojnie z brak u fachowców dach nie został odbudowany w oryginalnej formie. W 1925 r. zamontowano w nim silnik spalinowy PERKN a w 1938r doprowadzono prąd elektryczny co znacznie ułatwiło pracę młynarza. Zmieniono miejsce wejścia głównego do obiektu. W przybudówce były przeprowadzane również liczne przemurowania wzmacniające pierwotny mur. Obecnie wiatrak nie używany.
Sposób ochrony konserwatorskiej obiektu	Budynek wpisany do rejestru zabytków

ARCHITEKTURA I DETALE ARCHITEKTONICZNE

Bryła budynku	Wiatrak jest walcem zwężającym swoją średnicę ku górze.
Cechy charakterystyczne w układzie przestrzennym	Masywny korpus na planie koła, mur o grubości 120cm. Wysokość budynku do szczytu dachu 15m, długość budowli wraz z przybudówką 8m, wysokość przybudówki 8m.
Wątek murowy	Układ kamienia w murze warstwowym.
Detale dekoracyjne	Brak.
Ilość otworów wejściowych do budynku	1
Wejście główne od strony	Główne wejście do budynku od strony południowej.
Ilość otworów okiennych	6

CZĘŚĆ KONSTRUKCYJNO-BUDOWLANA

Fundamenty i ściany fundamentowe	Opoka na zaprawie piaskowo-glinianej.
Ściany zewnętrzne	Opoka.
Konstrukcja stropów	Stropy na balach drewnianych.
Schody	Drewniane jednobiegowe.
Typ dachu i pokrycie	Płyta falista azbestowo-cementowa.
Balkony	Brak.
Kominy	Z cegły. W przybudówce.
Typ nadproży	Nadproża z opoki wapnistej.
Podłoga piwnic	brak
Posadzki i podłogi kondygnacji naziemnych	Podłoga z desek.
Typ stolarki drzwiowej	Drewniane jednoskrzydłowe.
Typ stolarki okiennej	Drewniane.
Tynki zewnętrzne	Brak
Tynki wewnętrzne	Brak
Izolacje poziome	Brak
Izolacje pionowe	Brak

INSTALACJE

Instalacji grzewcza	W przybudówce piec kaflowy.
Instalacja wod-kan.	Tak
Wentylacja	Grawitacyjna.
Instalacja elektryczna	Tak

SYSTEM ODWODNIENIA

Rynny i rury spustowe	Brak
Obróbki blacharskie	Brak
Cokół	Brak
Opaska	Opaska z płyt betonowych.
Styk opaski z murem	Styk opaski z murem niezabezpieczony przed wilgocią. Widoczna szczelina pomiędzy murem a opaską z wyrastającą roślinnością.
Sposób odprowadzania	Brak

wody opadowej poza budynek	
Inne uwagi	Brak

STAN ZACHOWANIA BUDYNKU

Występowanie rys i spękań	Występują powierzchniowe rysy i spękania w pojedynczych kamieniach, spękań o większym zasięgu brak.
Ubytki w strukturze muru	Liczne pojedyncze ubytki kamienia w murze .
Stan zachowania systemu odwodnienia	Stan zachowania opaski jest bardzo zły. Opaska nie spełnia swoich funkcji .
Zawilgocenie	Znaczne zawilgocenie w dolnych strefach budynku .
Zasolenie	Nie stwierdzono śladów zasolenia.
Korozja biologiczna	Korozja biologiczna ścian fundamentowych i w miejscach szczególnie zawilgoconych.
Inne zauważone zjawiska	Przebarwienia materiału murowego.

STOPIEŃ ZAWILGOCENIA BUDYNKU

Badanie przeprowadzono w czterech osiach dla każdej elewacji zaczynając od lewej strony. Pomiaru dokonano z zewnątrz budynku.		Wartości zawilgocenia [%]						
		Numer punktu pomiarowego	Wysokość punktu pomiarowego [m]					
			+/-0,0	+0,5	+1,0	+1,5		
0-3 %	Mury o dopuszczalnej wilgotności	W	1	4,2	3,9	2,8	2,6	
3-5 %	Mury o podwyższonej wilgotności		2	4,5	4,1	3,8	2,9	
			3	3,7	3,8	3,2	2,6	
			4	5,2	4,2	4,2	3,3	
5-8 %	Mury średnio zawilgocone	E	5	7,2	4,4	4,5	4,8	
			6	6,9	5,4	3,2	3,4	
			7	5,1	5,2	3,1	2,8	
8-12 %	Mury mocno zawilgocone	N	8	8,3	5,2	3,6	2,9	
			9	7,8	5,6	3,9	2,8	
			10	5,6	5,9	4,8	3,9	
>12 %	Mury mokre	N	11	8,2	5,6	5	3,4	
			12	9,1	7,1	4	3,7	
			S	13	8,2	5,6	4,4	4,2
				14	7,7	6,1	5,1	3,4
15	5,1	4,2		3,6	3,2			
16	4,6	4,5		3,1	2,9			

DOKUMENTACJA FOTOGRAFICZNA



Rys. 13.9 Elewacja północna



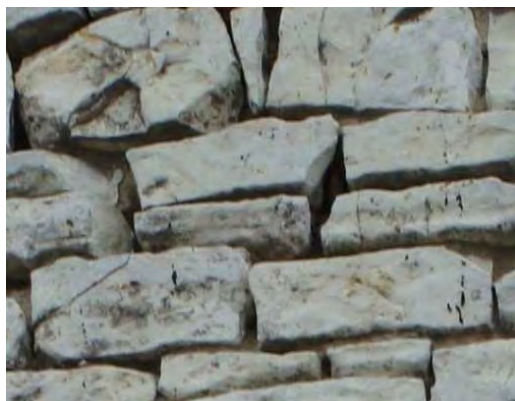
Rys. 13.10 Elewacja wschodnia



Rys. 13.11 Wątek murowy. Układ warstwowy.



Rys. 13.12 Przyziemie z widocznymi ubytkami zaprawy spoin



Rys. 13.13 Ubytki zaprawy w spoinach



Rys. 13.14 Spękania pojedynczych kamieni.



Rys. 13.15 Zawilgocenie przyziemia, obecność korozji biologicznej.



Rys. 13.16 Rozwój porostów na licu muru.

KARTA OBIEKTU - III

CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA

Typ obiektu	Dom jednorodzinny.
Adres	Biskupice ul. Rynek 15.
Przeznaczenie pierwotne	Mieszkalne.
Użytkowanie obecne	Budynek opuszczony.
Użytkownik	Brak danych.
Ilość kondygnacji naziemnych	2
Podpiwniczenie budynku	Budynek podpiwniczony pod częścią powierzchni.
Przeznaczenie poddasza	Poddasze przeznaczone na strych.
Data powstania	Budynek powstał w latach 30-tych XX w.
Przeprowadzone remonty i przebudowy	W czasie użytkowania przeprowadzane były tylko drobne naprawy i remonty. Zauważono naprawy ubytków w strukturze muru wykonane z cegły ceramicznej pełnej. Dach budynku posada

	ceramiczne kosze wskazujące na zmianę pokrycia dachowego z dachówek ceramicznych na blachę ocynkowaną. Dokonywano drobnych napraw ubytków kamienia przy użyciu cegły ceramicznej pełnej, czerwonej.
Sposób ochrony konserwatorskiej obiektu	Budynek wpisany do rejestru zabytków

ARCHITEKTURA I DETALE ARCHITEKTONICZNE

Bryła budynku	Budynek na planie prostokąta.
Cechy charakterystyczne w układzie przestrzennym	Budynek w zabudowie pierzejowej, ze wspólną ścianą północną z budynkiem sąsiednim.
Wątek murowy	Większość fragmentów muru wskazuje na warstwowy styl murowania), w niektórych miejscach użyto kamienia łamanego, niesortowanego.
Detale dekoracyjne	Ozdobne pilastry i nadproża otworów pierwszego piętra.
Ilość otworów wejściowych do budynku	1 wejście do części mieszkalnej i 1 wejście do piwnic od strony zachodniej.
Wejście główne od strony	Południowej.
Ilość otworów okiennych	13 w części mieszkalnej i 2 na poddaszu.

CZĘŚĆ KONSTRUKCYJNO-BUDOWLANA

Fundamenty i ściany fundamentowe	Brak danych.
Ściany zewnętrzne	Opoka na zaprawie wapienno-piaskowej z dodatkiem cementu.
Konstrukcja stropów	Stropy Kleina.
Schody	Brak danych.
Typ dachu i pokrycie	Dach dwuspadowy z pokryciem z blachy ocynkowanej
Balkony	Jeden od strony południowej - płyta z desek na wspornikach stalowych.
Kominy	Murowane z cegły ceramicznej pełnej czerwonej
Typ nadproży	Nadproża z belek stalowych.
Podłoga piwnic	Brak danych.
Posadzki i podłogi kondygnacji naziemnych	Podłogi drewniane.
Typ stolarki drzwiowej	Drzwi zewnętrzne drewniane, dwuskrzydłowe obite blachą.
Typ stolarki okiennej	Drewniane ościeżnicowe.
Tynki zewnętrzne	Wapienno-piaskowe z dodatkiem cementu.
Tynki wewnętrzne	Wapienno -cementowe.
Izolacje poziome	Brak.
Izolacje pionowe	Brak.

INSTALACJE

Instalacji grzewcza	Piece kaflowe
Instalacja wod-kan.	Tak
Wentylacja	Brak danych
Instalacja elektryczna	Tak

SYSTEM ODWODNIENIA

Rynny i rury spustowe	Z blachy ocynkowanej
Obróbki blacharskie	Parapety z blach ocynkowanej
Cokół	Brak
Opaska	Brak
Styk opaski z cokołem	
Sposób odprowadzania wody opadowej poza budynek	Budynek posiada tylko jedną rurę spustową od strony południowej, która kończy się na wysokości 2,5 metra od gruntu, co powoduje nawilgacanie ściany przez rozbijającą się o grunt wodę.
Inne uwagi	Budynek stoi na terenie z niewielkim spadkiem w kierunku północnym, co pozwala wodzie opadowej swobodnie odpływać od budynku. Woda opadowa od strony południowej nie ma szansy odpływu od budynku.

STAN ZACHOWANIA BUDYNKU

Występowanie rys i spękań	Budynek mocno spękany na każdej elewacji. Pęknięcia biegną wzdłuż spoin.
Ubytki w strukturze muru	Stwierdzono liczne ubytki kamienia i spoin, szczególnie w ścianie zachodniej i niewielkie ubytki na elewacjach zachodniej.
Stan zachowania systemu odwodnienia	Na parapetach, rynnach i rurach spustowych zauważono znaczne ślady korozji. Urwana rura spustowa na elewacji południowej. Brak parapetów przy dwóch oknach na parterze.
Zawilgocenie	Mury średnio i mocno zawilgocone
Zasolenie	Nie stwierdzono widocznych śladów zasolenia
Korozja biologiczna	Zauważono występowanie porostów na murze przy strefie przyziemia.
Inne zauważone zjawiska	Zauważono ciemne zabrudzenia kamienia w miejscach gdzie brak jest możliwości obmywania ścian przez deszcz

STOPIEŃ ZAWILGOCENIA BUDYNKU

Badanie przeprowadzono w czterech osiach dla każdej elewacji zaczynając od lewej strony dla każdej. Pomiaru dokonano z zewnątrz budynku.			Wartości zawilgocenia [%]				
			Numer punktu pomiarowego	Wysokość punktu pomiarowego [m]			
				+/-0,0	+0,5	+1,0	+1,5
0-3 %	Mury o dopuszczalnej wilgotności	S	1	5,7	5,5	3,0	3,0
			2	5,0	2,8	2,1	2,0
			3	5,6	2,8	2,1	1,9
			4	6,8	9,1	6,2	4,2
3-5 %	Mury o podwyższonej wilgotności	W	5	11,8	6,5	2,4	2,9
			6	5	5,3	4,5	4,3
			7	6	3,6	2,8	3,3
			8	7,8	7,9	3,2	2,9
5-8 %	Mury średnio zawilgocone	N	9				
			10				
			11				
			12				
8-12 %	Mury mocno zawilgocone	E	13	7,5	7,9	11	6,5
			14	7,7	9,6	6,2	5,5
			15	5,7	8,2	7,3	4,1
			16	Brak możliwości podejścia			
>12 %	Mury mokre						

DOKUMENTACJA FOTOGRAFICZNA

	
Rys. 13.17 Elewacja południowa	Rys. 13.18 Elewacja wschodnia



Rys. 13.19 Wątek murowy. Fragment elewacji południowej



Rys. 13.20 Pęknięcie na elewacji wschodniej



Rys. 13.21 Elewacja wschodnia. System odwodnienia.



Rys. 13.22 Elewacja zachodnia. Pas przyziemia.

13.3. ZAŁĄCZNIK 3 – OPOKA - BADANIA CECH FIZYKO - MECHANICZNYCH

W załączniku niniejszym przedstawiony został przebieg i wyniki badań opoki przed poddaniem jej procesowi hydrofobizacji. Próbkę przygotowano docinając ciosy kamienne do wymiarów zgodnych z wymaganiami poszczególnych norm. Łączna liczba przygotowanych próbek wyniosła 360 po 120 sztuk z każdej z miejscowości. Badania były prowadzone w Laboratorium Politechniki Lubelskiej od lutego do maja 2008 roku.

13.3.1. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej. Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN 1926:2001. Sposób wykonania badania:

Badaniu pobrano sześć próbek o kształcie zbliżonym do sześcianu o krawędzi ok. 70mm. Powierzchnie czołowe, które miały być obciążone zostały przygotowane tak by były płaskie z tolerancją 0,1mm. Wymiary przekroju poprzecznego do badania zostały zmierzone z dokładnością do 0,1mm i stanowiły średnią z dwóch pomiarów wykonanych pod kątem prostym względem siebie, w górnej i dolnej części wysokości h próbki. Średni wymiar boczny został użyty do obliczenia pola powierzchni przekroju poprzecznego. Wysokość próbki została określona z dokładnością do 1mm. Powierzchnie dociskowe maszyny wytrzymałościowej zostały oczyszczone i wszelkie zanieczyszczenia z obciążanych powierzchni próbki do badania zostały usunięte. Próbkę ustawiono dokładnie na środku dolnej płyty prasy. Nie zastosowano żadnych podkładek wyrównawczych. Obciążenie wzrastało w sposób ciągły, ze stałą prędkością wzrostu naprężeń ściskających $(1 \pm 0,5)$ MPa/s. Maksymalne obciążenie próbki zostało zanotowane z dokładnością do 1kN. Jednoosiowa wytrzymałość na ściskanie każdej próbki została wyrażona przez stosunek siły niszczącej próbkę do powierzchni jej przekroju. [200]

$$R = \frac{F}{A} \quad (13.1)$$

Gdzie:

R – wytrzymałość na ściskanie

F – siła niszcząca

A – powierzchnia przekroju

Tab. 13.1 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie próbek z Kazimierza Dolnego nad Wisłą.

Nr Próbki	Pole powierzchni A A [cm ³]	Pole powierzchni B B [cm ²]	Pole powierzchni średnie [cm ²]	Siła ściskająca [kN]	Wytrzymałość [MPa]
1	38,28	38,37	38,33	67,8	17,69
2	37,51	37,08	37,30	66,5	17,83
3	38,92	38,54	38,73	76,2	19,62
4	38,55	41,59	40,07	47,6	11,73
5	35,55	36,28	35,92	34,2	9,46
6	39,24	38,50	38,87	51,0	13,12
7	36,05	34,90	35,48	76,5	21,56
8	37,77	38,74	38,25	68,5	17,90
9	28,01	29,59	28,82	42,6	14,58
10	28,18	27,83	28,00	43,8	15,35
11	29,54	27,71	28,62	47,5	16,60
12	26,77	28,44	27,61	40,0	14,49
13	25,84	25,08	25,46	34,5	13,55
14	25,27	29,90	27,58	52,0	18,85
				ΔR	15,88

Tab. 13.2 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie próbek z Piask.

Nr Próbki	Pole powierzchni A A [cm ³]	Pole powierzchni B B [cm ²]	Pole powierzchni średnie [cm ²]	Siła ściskająca [kN]	Wytrzymałość [MPa]
1	51,83	52,54	52,19	52,0	9,96
2	51,08	52,55	51,82	54,0	10,42
3	54,02	55,13	54,58	64,0	11,72
4	54,81	55,88	55,34	80,0	14,46
5	55,13	57,75	56,44	50,0	8,86
6	54,39	56,25	55,32	73,0	13,19
				ΔR	11,44

Tab. 13.3 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie próbek z Trawniki.

Nr Próbki	Pole powierzchni A A [cm ³]	Pole powierzchni B B [cm ²]	Pole powierzchni średnie [cm ²]	Siła ściskająca [kN]	Wytrzymałość [MPa]
1	52,34	52,27	52,31	94,0	17,97
2	52,45	53,07	52,76	99,0	18,76
3	51,41	52,67	52,04	92,0	17,68
4	52,06	53,29	52,67	119,0	22,59
5	53,10	53,73	53,41	120,0	22,47
6	52,27	51,26	51,76	128,0	24,73
				ΔR	20,70

13.3.2. Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN 12390-6:2001

Sposób wykonania badania:

Badaniu pobrano sześć próbek o kształcie zbliżonym do sześciangu o krawędzi ok. 70mm. Powierzchnie czołowe, które miały być obciążone zostały przygotowane tak by były płaskie z tolerancją 0,1mm i zmierzone z dokładnością do 0,1mm. Szerokości obu powierzchni czołowych zostały zmierzone z dokładnością do 0,1mm i stanowiły średnią z dwóch długości boków równoległych do przyłożonej siły ściskającej. Wysokość próbki została określona z dokładnością do 1mm.

Powierzchnie dociskowe maszyny wytrzymałościowej zostały oczyszczone i wszelkie zanieczyszczenia z obciążanych powierzchni próbki do badania zostały usunięte.

Badanie przeprowadza się, przykładając siłę przez podkładki o szerokości 0,1 szerokości próbki, ustawiając je dokładnie na środku. Obciążenie wzrastało w sposób ciągły, ze stałą prędkością wzrostu naprężeń ściskających ($1 \pm 0,5$) MPa/s. Maksymalne obciążenie próbki zostało zanotowane z dokładnością do 1kN.

Jednoosiową wytrzymałość na rozciąganie każdej próbki oblicza się według równania:

$$f_{cl}^{spl} = \frac{2F}{d^3 \pi} \quad (13.2)$$

Gdzie:

f_{cl}^{spl} – wytrzymałość na rozciąganie

F – siła niszcząca

d – długość boku próbki.

Tab. 13.4 Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie próbek z Kazimierza Dolnego nad Wisłą.

Nr próbki	Średnia wysokość próbki h [cm]	Średni wymiar boku pow. górnej [cm]	Średni wymiar boku pow. dolnej [cm]	Średni wymiar boku próbki d [cm]	Siła rozciągająca F [kN]	Wytrzymałość na rozciąganie f_{cl}^{spl} [MPa]
1	7,28	7,39	7,35	7,34	19,00	3,05
2	7,07	7,49	7,42	7,33	29,50	4,76
3	7,42	7,22	7,27	7,30	20,00	3,27
4	6,78	7,07	6,98	6,94	8,00	2,20
5	7,32	7,33	7,31	7,32	30,50	5,80
6	7,1	7,07	7,18	7,12	12,50	2,20
					Δf_{cl}^{spl}	3,55

Tab. 13.5 Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie próbek z Piask.

Nr próbki	Średnia wysokość próbki h [cm]	Średni wymiar boku pow. górnej [cm]	Średni wymiar boku pow. dolnej [cm]	Średni wymiar boku próbki d [cm]	Siła rozciągająca F [kN]	Wytrzymałość na rozciąganie f_{cl}^{spl} [MPa]
1	7,20	7,23	7,43	7,28	27,00	4,45
2	7,20	7,33	7,25	7,26	15,00	2,50
3	7,00	7,33	7,23	7,18	9,00	1,55
4	7,10	7,65	7,53	7,43	8,00	1,24
5	7,40	7,48	7,45	7,44	21,00	3,17
6	7,20	7,48	7,55	7,41	11,00	1,72
					Δf_{cl}^{spl}	2,44

Tab. 13.6 Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie próbek z Trawnik.

Nr próbki	Średnia wysokość próbki h [cm]	Średni wymiar boku pow. górnej [cm]	Średni wymiar boku pow. dolnej [cm]	Średni wymiar boku próbki d [cm]	Siła rozciągająca F [kN]	Wytrzymałość na rozciąganie f_{cl}^{spl} [MPa]
1	7,12	7,29	7,36	7,26	23,00	3,83
2	7,13	7,42	7,48	7,34	24,00	3,86
3	7,22	7,27	7,32	7,27	25,00	4,14
4	7,24	6,99	7,15	7,13	26,00	4,58
5	7,36	7,31	7,21	7,29	27,00	4,43
6	7,14	7,14	6,88	7,05	28,00	5,08
					Δf_{cl}^{spl}	4,32

13.3.3. Oznaczanie odporności na ścieranie

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-84/B-04111

Badaniu pobrano trzy próbki o kształcie zbliżonym do sześcianu o krawędzi ok. 70mm. Powierzchnia ścieralna wynosi ok. 50cm^2 . Próbki do badania wysuszono do stałej masy w temperaturze ok. 105°C . Wysokości próbek dokładnie zmierzono wzdłuż prostych prostopadłych do przyjętej podstawy, wyprowadzonych ze środka każdej z czterech jej krawędzi. Powierzchnia ścierana została doszlifowana na płasko.[164]

Badanie wykonane zostało na tarczy Boehmego. Próbka po umieszczeniu w uchwycie została przyciśnięta do tarczy siłą skupioną 30kg (294N). Powierzchnie tarczy na całej długości pasa ścierania posypano dwudziestoma gramami proszku ścieranego elektrokorundowego B nr 80. Po nasypianiu proszku wprowadzono tarczę w ruch obrotowy, zgarniając stale proszek ścierny na pas ścierania. Po 22 obrotach, materiał wraz z proszkiem usunięto z tarczy, po czym posypano pas ścierania nową porcją 20g proszku ściernego i ponownie uruchomiono tarczę. Po każdych 110 obrotach tarczy próbkę wyjęto i sprawdzono równomierność ścierania przez dokładne zmierzenie wysokości, po czym umocowano ją ponownie w uchwycie maszyny, obracając jednocześnie o 90° wokół osi pionowej w stosunku do poprzedniego położenia. [164]

Po 440 obrotach badanie jest zakończone. Próbkę wyjęto z uchwytu, zmierzono jej wysokość suwmiarką z dokładnością do 0,01cm. Miarą ścieralności jest strata wysokości obliczona jako różnica przed badaniem i po badaniu średniej wysokości próbki, obliczona ze średniej arytmetycznej wysokości pomierzonych wzdłuż prostych prostopadłych do przyjętej podstawy, wyprowadzonych ze środka każdej z czterech jej krawędzi. [164]

Tab. 13.7 Oznaczanie odporności na ścieranie próbek z Kazimierza Dolnego nad Wisłą.

Nr próbki	h_1 [cm]	h_2 [cm]	h_3 [cm]	h_4 [cm]	Średnia wysokość próbki Δh [cm]	h_1' [cm]	h_2' [cm]	h_3' [cm]	h_4' [cm]	Średnia wys. po ścieraniu $\Delta h'$ [cm]	Ścieralność H [cm]
1	7,25	7,21	7,30	7,31	7,27	6,32	6,23	6,20	6,30	6,26	1,01
2	7,36	7,32	7,24	7,24	7,29	6,62	6,50	6,41	6,50	6,51	0,78
3	7,30	7,22	7,11	7,22	7,21	6,53	6,38	6,35	6,50	6,44	0,77
										ΔH	0,85

Tab. 13.8 Oznaczanie odporności na ścieranie próbek z Piask.

Nr próbki	h_1 [cm]	h_2 [cm]	h_3 [cm]	h_4 [cm]	Średnia wysokość próbki Δh [cm]	h_1' [cm]	h_2' [cm]	h_3' [cm]	h_4' [cm]	Średnia wys. po ścieraniu $\Delta h'$ [cm]	Ścieralność H [cm]
1	7,48	7,38	7,38	7,40	7,41	6,47	6,60	6,60	6,45	6,53	0,88
2	7,37	7,37	7,37	7,40	7,38	6,62	6,49	6,60	6,60	6,54	0,84
3	7,48	7,80	7,38	7,40	6,52	5,90	5,97	5,88	5,80	5,89	0,63
										ΔH	0,78

Tab. 13.9 Oznaczanie odporności na ścieranie próbek z Trawnik.

Nr próbki	h_1 [cm]	h_2 [cm]	h_3 [cm]	h_4 [cm]	Średnia wysokość próbki Δh [cm]	h_1' [cm]	h_2' [cm]	h_3' [cm]	h_4' [cm]	Średnia wys. po ścieraniu $\Delta h'$ [cm]	Ścieralność H [cm]
1	7,34	7,15	7,26	7,42	7,29	5,81	5,90	5,85	5,81	5,84	0,85
2	7,16	7,20	7,33	7,30	7,25	6,58	6,47	6,32	6,42	6,45	0,80
3	7,17	7,27	7,35	7,30	7,27	6,30	6,35	6,24	6,20	6,27	1,00
										ΔH	0,88

13.3.4. Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN 13755

Sposób wykonania badania:

Badaniu pobrano sześć próbek o kształcie zbliżonym do sześciangu o krawędzi ok. 70mm. Próbki do badania wysuszone do stałej masy w temperaturze ok. 70°C. Próbki do badania były przechowywane w eksykatorze do osiągnięcia temperatury pokojowej ok. 20°C.[187]

Po wysuszeniu próbki do badania zważono z dokładnością do 0,01g. Umieszczono je w pojemniku na podkładkach. Każda próbka do badania została umieszczona w odległości co najmniej 15mm od sąsiednich próbek. Dodano wodę wodociągową o temperaturze ok. 20°C do połowy wysokości próbek. Po czasie t_0 ok. 60 min dodano wodę do poziomu 3/4 wysokości próbek do badania. Po czasie t_0 ok. 120min dodano wodę do całkowitego zanurzenia próbki pod wodą na głębokość ok. 25mm. Woda była czysta bez jakichkolwiek zanieczyszczeń, które mogły w jakikolwiek sposób wpłynąć na jej gęstość. [187]

Po czasie t_0 ok. 48h próbki wyjęto z wody, szybko wytarto wilgotną ściereczką, a następnie zważono w ciągu 1 min z dokładnością do 0,01g. Następnie ponownie zanurzono próbki do badania w wodzie i kontynuowano badanie. Po każdych 24h próbki wyjmowano z wody, szybko wycierano wilgotną szmatką i ważono w ciągu 1 minuty z dokładnością do 0,01g. Notowano kolejne masy próbek do badania. Prowadzono badania aż do osiągnięcia stałej masy próbek. [187]

Nasiąkliwość wodą przy ciśnieniu atmosferycznym A_b , jest obliczane z równania:

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_s} \cdot 100 \quad (13.3)$$

Gdzie:

A_b – nasiąkliwość wodą przy ciśnieniu atmosferycznym

m_d – masa próbki suchej

m_s – masa próbki nasyconej.

Tab. 13.10 Oznaczanie nasiąkliwości próbek z Kazimierza Dolnego nad Wisłą.

Nr próbki	Masa próbki suchej m_s [g]	Masa próbki nasyconej m_d [g]	Nasiąkliwość przy ciśnieniu atmosferycznym A_d [%]
1	264,3	339,1	28,30
2	275,2	345,2	25,44
3	238,9	304,6	27,50
4	276,2	344,7	24,80
5	292,4	370,1	26,57
6	239,3	303,3	26,74
		ΔA_b	26,6

Tab. 13.11 Oznaczanie nasiąkliwości próbek z Piask.

Nr próbki	Masa próbki suchej m_s [g]	Masa próbki nasyconej m_d [g]	Nasiąkliwość przy ciśnieniu atmosferycznym A_d [%]
1	246,50	315,90	28,15
2	233,20	303,30	30,06
3	241,70	316,10	30,78
4	248,50	322,90	29,94
5	265,20	340,30	28,32
6	297,20	385,00	29,54
		ΔA_b	29,5

Tab. 13.12 Oznaczanie nasiąkliwości próbek z Trawniki.

Nr próbki	Masa próbki suchej m_s [g]	Masa próbki nasyconej m_d [g]	Nasiąkliwość przy ciśnieniu atmosferycznym A_d [%]
1	301,41	377,61	25,28
2	206,70	257,14	24,40
3	228,60	291,61	27,56
4	238,88	303,49	27,05
5	275,12	342,68	24,56
6	264,39	329,13	24,49
		ΔA_b	25,6

13.3.5. Oznaczanie gęstości pozornej

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN 1936:2001

Badaniu należy poddać minimum trzy próbki o kształcie nieregularnym i masie zbliżonej do 20g. Próbki do badania wysuszono do stałej masy w temperaturze ok. 105° C. Powierzchnie próbek oczyszczono metalową szczotką i ponumerowaną niezmywalną w wodzie farbą. Po wystudzeniu próbki zważono z dokładnością do 0,01g [m] i zanurzono w wodzie, aż do nasycenia próbki wodą do stałej masy. Każdą próbkę przetarto wilgotną ścierką i zważono z dokładnością do 0,01g – najpierw w powietrzu [m_1], a następnie w wodzie na wadze hydrostatycznej [m_2].[201]

Gęstość pozorną badanego materiału kamiennego należy obliczyć do drugiego znaku po przecinku ze wzoru:

$$\rho_p = \frac{m}{m_1 - m_2} \quad (13.4)$$

Gdzie:

ρ_p – gęstość pozorna

m – masa próbki suchej

m_1 – masa próbki nasyconej wodą ważona w powietrzu

m_2 – masa próbki nasyconej wodą ważona w wodzie na wadze hydrostatycznej.

Gęstość pozorną wyraża się w g/cm^3 .

Tab. 13.13 Oznaczanie gęstości pozornej próbek z Kazimierza Dolnego nad Wisłą.

Nr próbki	Masa próbki wysuszonej [g]	Masa próbki nasyconej do stałej masy [g]	Masa próbki na wadze hydrostatycznej [g]	Objętość próbki [cm^3]	Gęstość pozorną [g/cm^3]
1	20,21	27,50	12,11	15,42	1,31
2	32,42	41,41	18,69	22,73	1,42
3	30,01	39,51	17,59	21,95	1,43
4	41,38	55,01	24,00	31,05	1,29
5	46,39	60,69	27,61	33,18	1,38
				$\Delta \rho_p$	1,37

Tab. 13.14 Oznaczanie gęstości pozornej próbek z Piask.

Nr próbki	Masa próbki wysuszonej [g]	Masa próbki nasyconej do stałej masy [g]	Masa próbki na wadze hydrostatycznej [g]	Objętość próbki [cm^3]	Gęstość pozorną [g/cm^3]
1	25,30	33,02	14,52	18,50	1,37
2	19,70	25,78	11,53	14,25	1,38
3	20,33	26,71	11,80	14,91	1,36
				$\Delta \rho_p$	1,37

Tab. 13.15 Oznaczanie gęstości pozornej próbek z Trawniki.

Nr próbki	Masa próbki wysuszonej [g]	Masa próbki nasyconej do stałej masy [g]	Masa próbki na wadze hydrostatycznej [g]	Objętość próbki [cm^3]	Gęstość pozorną [g/cm^3]
1	22,39	27,58	12,92	14,66	1,53
2	24,24	34,72	16,23	18,49	1,31
3	28,30	29,90	13,88	16,02	1,57
				$\Delta \rho_p$	1,53

13.3.6. Oznaczanie gęstości metodą piknometryczną

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN 1936:2001

Badaniu należy poddać minimum trzy próbki. Próbki rozdrobniono w moździerzu tak, aby zmielona substancja przeszła przez sito o boku oczka 0,08mm. Następnie próbki wysuszono w temperaturze ok. 105°C a następnie wysuszono w eksykatorze.

Po przygotowaniu próbek przystąpiono do wykonania oznaczenia. Sześć wysuszonych piknometrów zważono z dokładnością do 0,001g. Z każdej próbki wsypano po około 10g do dwóch piknometrów i ponownie zważono. Z różnicy mas znaleziono masę wsypanego materiału [m] z dokładnością do 0,001g. Następnie do każdego piknomtru wiano tyle denaturatu, by przykrył całą próbkę. W celu usunięcia powietrza mogącego znajdować się między ziarnkami proszku umieszczono w eksykatorze próżniowym i zmniejszono ciśnienie do 17, 5 Tr przy temperaturze 20°C. W eksykatorze piknomtru przebywały 30 minut. Po usunięciu powietrza dopełniono piknometry płynem do wierzchu, usunięto płyn z korka i piknomtru za pomocą zwilżonej bibuły do odsączania, a następnie zważono z dokładnością do 0,001g [m₂]. Na koniec piknometry umyto, wysuszono i zmierzono ich masę z samym płynem z dokładnością do 0,001g [m₁]. Badanie wykonywano w temp. 20 +/- 2°C. Gęstości badanego materiału obliczono z dokładnością do trzech miejsc po przecinku według wzoru:

$$\rho = \frac{m}{m + m_1 - m_2} \cdot \rho_x \quad (13.5)$$

Gdzie:

ρ – gęstość materiału [g/cm³], m - masa próbki[g],

m₁ – masa piknomtru z płynem[g],

m₂ - masa próbki z piknometrem i płynem[g],

ρ_x - gęstość zastosowanego płynu w temp. 20°C w g/cm³

Tab. 13.16 Oznaczanie gęstości właściwej próbek z Kazimierza Dolnego nad Wisłą.

Nr próbki	Masa piknomtru [g]	Masa piknomtru z próbką do stałej masy [g]	Masa próbki (m) [g]	Masa próbki z piknometrem i płynem (m ₂) [g]	Masa piknomtru z płynem (m ₁) [g]	Gęstość [g/cm ³]	Gęstość średnia [g/cm ³]
1	19,59	29,57	9,98	66,77	60,86	2,43	2,41
	16,96	26,98	10,02	63,96	58,04	2,38	
2	17,96	27,87	9,91	65,30	59,51	2,39	2,42
	21,17	31,22	10,05	67,02	61,12	2,44	
3	16,86	26,83	9,96	62,49	56,67	2,41	2,40
	17,92	27,91	9,99	65,88	60,05	2,48	
4	19,75	29,64	9,89	65,11	59,22	2,46	2,45
	15,82	25,79	9,97	61,84	55,91	2,44	
5	19,75	29,63	9,87	65,10	59,24	2,48	2,44
	15,82	25,81	9,99	61,82	55,91	2,40	
						$\Delta \rho$	2,43

Tab. 13.17 Oznaczanie gęstości właściwej próbek z Piask.

Nr próbki	Masa piknometru [g]	Masa piknometru z próbką do stałej masy [g]	Masa próbki (m) [g]	Masa próbki z piknometrem i płynem (m ₂) [g]	Masa piknometru z płynem (m ₁) [g]	Gęstość [g/cm ³]	Gęstość średnia [g/cm ³]
1	19,754	27,166	7,412	63,581	58,508	2,65	2,65
	16,867	26,845	9,978	62,737	55,902	2,65	
2	17,921	27,624	9,703	65,906	59,344	2,59	2,58
	15,824	25,269	9,445	61,592	55,231	2,56	
3	19,754	29,097	9,343	64,868	58,508	2,62	2,64
	16,867	25,548	8,680	61,842	55,902	2,65	
						$\Delta \rho$	2,62

Tab. 13.18 Oznaczanie gęstości właściwej próbek z Trawnik.

Nr próbki	Masa piknometru [g]	Masa piknometru z próbką do stałej masy [g]	Masa próbki (m) [g]	Masa próbki z piknometrem i płynem (m ₂) [g]	Masa piknometru z płynem (m ₁) [g]	Gęstość [g/cm ³]	Gęstość średnia [g/cm ³]
1	17,920	27,832	9,912	66,076	59,344	2,60	2,60
	21,171	30,988	9,817	67,085	60,419	2,60	
2	16,959	26,875	9,916	64,056	57,333	2,59	2,58
	15,824	25,685	9,861	61,894	55,231	2,57	
3	19,594	29,317	9,723	66,767	60,139	2,62	2,61
	17,958	25,237	7,279	63,767	58,811	2,60	
						$\Delta \rho$	2,60

13.3.7. Oznaczenie otwartej porowatości i szczelności

Szczelność i porowatość materiału skalnego oblicza się na podstawie gęstości i gęstości pozornej według wzorów:

$$s = \frac{\rho_p}{\rho} \quad (13.6)$$

$$p = 1 - s = 1 - \frac{\rho_p}{\rho} \quad (13.7)$$

Gdzie:

s – szczelność [%]

p – porowatość [%]

ρ_p - gęstość pozorna [kg/m³, g/cm³],

ρ - gęstość [kg/m³, g/cm³].

Tab. 13.19 Oznaczanie otwartej porowatości i szczelności próbek z Kazimierza Dolnego nad Wisłą.

Nr próbki	Gęstość pozorna [g/cm ³]	Gęstość właściwa [g/cm ³]	Szczelność [%]	Porowatość [%]
1	1,31	2,41	54,36	45,64
2	1,42	2,42	58,68	41,32
3	1,43	2,4	59,58	40,42
4	1,29	2,45	52,65	47,35
5	1,38	2,44	56,56	43,44
		Δ	56,38	43,62

Tab. 13.20 Oznaczanie otwartej porowatości i szczelności próbek z Piask.

Nr próbki	Gęstość pozorna [g/cm ³]	Gęstość właściwa [g/cm ³]	Szczelność [%]	Porowatość [%]
1	1,37	2,65	51,70	48,30
2	1,38	2,58	53,49	46,51
3	1,36	2,64	51,52	48,48
		Δ	52,23	47,77

Tab. 13.21 Oznaczanie otwartej porowatości i szczelności próbek z Trawniki.

Nr próbki	Gęstość pozorna [g/cm ³]	Gęstość właściwa [g/cm ³]	Szczelność [%]	Porowatość [%]
1	1,53	2,6	58,85	41,15
2	1,31	2,58	50,78	49,22
3	1,77	2,61	67,82	32,18
		Δ	59,15	40,85

13.4. ZAŁĄCZNIK 4 – ZAPRAWY - BADANIA CECH FIZYKO - MECHANICZNYCH

W załączniku niniejszym przedstawiony został przebieg i wyniki badań zapraw przed poddaniem ich procesowi hydrofobizacji. Próbkę przygotowano formując je zgodnie z wymaganiami poszczególnych norm. Łączna liczba przygotowanych próbek wyniosła 172 dla wszystkich badanych zapraw. Badania były prowadzone w Laboratorium Politechniki Lubelskiej od marca do sierpnia 2008 roku.

13.4.1. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie rozciąganie

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej.

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN 1015-11:2001

Sposób wykonania badania:

Przygotowanie próbek. Próbkę do badań zostały wykonane w postaci graniastosłupa o wymiarach $40 \times 40 \times 160\text{mm}$. Wytrzymałość na zginanie określono na sześciu próbkach a wytrzymałość na ściskanie po przełamaniu beleczek na dwunastu próbkach z każdego rodzaju badanych zapraw.[177]

Określenie wytrzymałości na ściskanie. Oznaczenie zostało wykonane na automatycznej maszynie wytrzymałościowej ADVANTEST 9 przy przyroście obciążenia od 50 N/s do 500 N/s aż do zniszczenia beleczki w czasie 30 do 90 s.

Obliczenie i przedstawienie wyników oznaczenia wytrzymałości na ściskanie. Dokonano pomiaru z dokładnością $0,05 \text{ N/mm}^2$, średnią wyliczoną z dokładnością $0,1 \text{ N/mm}^2$. Obliczyć wytrzymałość na ściskanie jako maksymalne obciążenie, które wytrzyma próbka podzielone przez pole powierzchni jej przekroju. Wytrzymałość na zginanie określono na podstawie wzoru:

$$R = \frac{F}{A} \quad (13.8)$$

Gdzie:

F – siła niszcząca [N],

A – pole przekroju próbki[mm]. [177]

Określenie wytrzymałości na zginanie. Oznaczenie zostało wykonane na automatycznej maszynie wytrzymałościowej ADVANTEST 9 przy przyroście obciążenia od 10 N/s do 50 N/s aż do przełamania beleczki w czasie 30 do 90 s.

Obliczenie i przedstawienie wyników oznaczenia wytrzymałości na zginanie. Dokonano pomiaru z dokładnością 0,05 N/mm², średnią wyliczoną z dokładnością 0,1 N/mm². Wytrzymałość na zginanie określono na podstawie wzoru:

$$f = 1,5 \frac{F l}{b d^2} \quad (13.9)$$

Gdzie:

F – maksymalne obciążenie przyłożone do próbki [N],

l – odległość pomiędzy osiami walców podtrzymujących l=100mm,

b – szerokość próbki [mm] b=40mm,

d – wysokość próbki [mm] d=40mm. [177]

Tab. 13.22 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie zaprawy wapiennej

Nr próbki	Próba zginania		Próba ściskania	
	Siła łamiąca [N]	Wytrzymałość na zginanie [N/mm ²]	Siła niszcząca [N]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]
1	178	0,42	1850	1,16
			2050	1,28
2	555	1,30	1850	1,16
			1830	1,14
3	88	0,21	2030	1,27
			1860	1,16
4	89	0,21	1690	1,06
			1930	1,21
5	106	0,25	1810	1,13
			1970	1,23
6	139	0,33	1880	1,18
			2050	1,28
	Δf	-	ΔR	1,2

Tab. 13.23 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie zaprawy wapienno-cementowej

Nr próbki	Próba zginania		Próba ściskania	
	Siła łamiąca [N]	Wytrzymałość na zginanie [N/mm ²]	Siła niszcząca [N]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]
1	253	0,59	2880	1,80
			2860	1,79
2	295	0,69	3210	2,01
			3460	2,16
3	290	0,68	3150	1,97
			3120	1,95
4	281	0,66	3480	2,18
			3260	2,04
5	281	0,66	3240	2,03
			3560	2,23
6	277	0,65	3190	1,99
			3090	1,93
	Δf	0,65	ΔR	2,0

Tab. 13.24 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie zaprawy trasowej

Nr próbki	Próba zginania		Próba ściskania	
	Siła łamiąca [N]	Wytrzymałość na zginanie [N/mm ²]	Siła niszcząca [N]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]
1	1107	2,59	50260	31,41
			48480	30,30
2	622	1,46	47970	29,98
			47830	29,89
3	659	1,54	49300	30,81
			52250	32,66
4	1069	2,51	47970	29,98
			47830	29,89
5	1116	2,62	48200	30,13
			48080	30,05
6	997	2,34	42300	26,44
			42970	26,86
	Δf	2,18	ΔR	30,5

Tab. 13.25 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie zaprawy trasowej modyfikowanej pianą 1:1

Nr próbki	Próba zginania		Próba ściskania	
	Siła łamiąca [N]	Wytrzymałość na zginanie [N/mm ²]	Siła niszcząca [N]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]
1	130	0,30	6350	3,97
			5990	3,74
2	180	0,42	6750	4,22
			5170	3,23
3	516	1,21	7430	4,64
			5940	3,71
	Δf	-	ΔR	3,6

Tab. 13.26 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie zaprawy trasowej modyfikowanej pianą 1:0,5

Nr próbki	Próba zginania		Próba ściskania	
	Siła łamiąca [N]	Wytrzymałość na zginanie [N/mm ²]	Siła niszcząca [N]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]
1	896	2,10	21230	13,27
			20250	12,66
2	709	1,66	21900	13,69
			21060	13,16
3	914	2,14	19580	12,24
			18650	11,66
	Δf	-	ΔR	12,8

Tab. 13.27 Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie zaprawy trasowej modyfikowanej pianą 1:0,4

Nr próbki	Próba zginania		Próba ściskania	
	Siła łamiąca [N]	Wytrzymałość na zginanie [N/mm ²]	Siła niszcząca [N]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]
1	470	1,10	27510	17,19
			23950	14,97
2	534	1,25	26910	16,82
			24940	15,59
3	591	1,39	23270	14,54
			25240	15,78
	Δf	-	ΔR	15,8

13.4.2. Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-85 B-04500

Zasada badania polega na określeniu masy wody, jaką może wchłonąć próbka zanurzona w wodzie pod działaniem normalnego ciśnienia atmosferycznego. [166]

Wykonanie oznaczania. Nasiąkliwość zaprawy została określona na 72 beleczkach o wymiarach $4 \times 4 \times 16$ cm dla wszystkich badanych zaprawach. Próbki zostały wysuszone w suszarce do stałej masy w temperaturze $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Po wysuszeniu, próbki zostały zważone z dokładnością do 1 g (m_s) oraz zmierzony z dokładnością do 0,1 mm w celu obliczenia objętości (V). Suche próbki zostały umieszczone w wannie (płasko na ruszcie drewnianym) i zalane wodą o temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ do $\frac{1}{4}$ wysokości. Po 3 h dolano wody do połowy wysokości próbek, a po dalszych 3 h do $\frac{3}{4}$ wysokości. Po 24 h próbki zostały całkowicie zalane wodą tak, aby górna powierzchnia próbek znajdowała się 2 cm poniżej zwierciadła wody. Po 24 h od momentu całkowitego zalania próbek wodą zostały wyjęte z wody, osuszone ściereczką i zważone z dokładnością do 1 g. Po zważeniu próbki ponownie zostały zanurzone całkowicie w wodzie. Następnie zważone, co 24 h do momentu, gdy wyniki dwóch kolejnych ważen w odstępie 24 h nie różniły się o więcej niż 2 g (m_m). [166]

Wynik oznaczania. Nasiąkliwość w stosunku do masy zaprawy n_m , oblicza się w procentach wg wzoru:

$$n_m = \frac{m_m - m_s}{m_s} 100\% \quad (13.10)$$

Gdzie:

m_m - masa próbki nasyconej wodą [g],

m_s - masa próbki wysuszonej do stałej masy [g]. [166]

Tab. 13.28 Oznaczanie nasiąkliwości zaprawy wapiennej

Lp.	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	405,92	470,29	15,86
2	412,22	478,01	15,96
3	416,17	482,70	15,99
4	404,74	469,99	16,12
5	420,19	487,27	15,96
6	412,33	476,98	15,68
7	421,56	487,94	15,75
8	417,33	483,99	15,97
9	406,82	471,44	15,88
10	419,07	486,40	16,07
11	409,81	474,42	15,77
12	406,23	470,45	15,81
13	416,34	482,93	15,99
14	404,80	469,52	15,99
15	414,38	479,91	15,81
		Δn_m	15,9

Tab. 13.29 Oznaczanie nasiąkliwości zaprawy wapienno-cementowej

Lp.	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	400,11	483,87	20,93
2	411,82	497,95	20,91
3	412,65	497,67	20,60
4	402,68	485,92	20,67
5	407,83	493,92	21,11
6	414,11	500,46	20,85
7	411,63	497,70	20,91
8	399,13	483,65	21,18
9	401,84	486,64	21,10
10	400,69	483,70	20,72
11	401,69	485,85	20,95
12	399,11	483,07	21,04
13	413,17	499,34	20,86
14	407,25	492,09	20,83
15	408,93	494,35	20,89
		Δn_m	20,9

Tab. 13.30 Oznaczanie nasiąkliwości zaprawy trasowej

Lp.	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	391,65	491,83	25,58
2	401,36	504,26	25,64
3	396,78	497,66	25,42
4	396,90	498,42	25,58
5	396,12	497,72	25,65
6	395,56	496,43	25,50
7	392,22	492,69	25,62
8	396,62	497,76	25,50
9	394,38	494,15	25,30
10	394,64	495,43	25,54
11	395,10	497,66	25,96
12	397,39	500,85	26,03
13	395,97	499,27	26,09
14	403,88	508,64	25,94
15	390,92	508,64	30,11
		Δn_m	25,9

Tab. 13.31 Oznaczanie nasiąkliwości zaprawy trasowej modyfikowanej pianą

Lp.	Proporcja wymieszania z pianą	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]	Nasiąkliwość średnia Δn_m [%]
1	1 : 1	193,59	255,53	32,00	31,3
2		195,97	257,63	31,46	
3		196,74	256,85	30,55	
4	1 : 0,5	301,72	388,55	28,78	28,8
5		306,70	394,20	28,53	
6		306,84	395,72	28,97	
7	1 : 0,4	325,85	416,68	27,87	27,8
8		327,39	417,49	27,52	
9		328,00	419,67	27,95	

13.4.3. Oznaczanie kapilarnego podciągania

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-85 B-04500

Zasada oznaczania. Oznaczanie kapilarnego podciągania wody polega na określeniu poziomu zawilgocenia próbek ustawionych w wodzie od poziomu wody w naczyniu oraz na określeniu przyrostu masy próbek. [166]

Oznaczanie kapilarnego podciągania wody przez zaprawę zostało wykonane na 72 beleczkach o wymiarach $4 \times 4 \times 16$ cm wysuszonych do stałej masy. Próbki ustawiono w pozycji pionowej (podstawa o wymiarach 4×4 cm) na dnie płaskiego naczynia (ustawionego na poziomej płaszczyźnie). Następnie na dno naczynia wlewo wodę o temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ temperaturze takiej ilości, aby zanurzenie dolnej części beleczek wynosiło 1 cm. Pomiar kapilarnego podciągania wody wykonano po upływie 1, 0,5, 2, 3, 4, 5, 6, 18 i 24 h. W czasie badania wodę w naczyniu utrzymywano na niezmiennym poziomie (odpowiadającym zanurzeniu dolnej części beleczki na 1 cm). W celu wykonania oznaczania kapilarnego podciągania po określonym wyżej czasie wyjęto beleczkę z naczynia, osuszono szmatką, i zważono z dokładnością do 1 g. Kapilarne podciąganie określono jako przyrost masy próbek (m), w %, po 1, 3, 6, 24 h oblicza się wg wzoru:

$$m = \frac{m_n - m_s}{m_s} 100\% \quad (13.11)$$

Gdzie:

m_n - masa próbki nasyconej wodą przez kapilarne podciąganie [g],

m_s - masa próbki wysuszonej do stałej masy [g]. [166]

Tab. 13.32 Oznaczanie kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej

Lp.	Masa próbki [g]										Kapilarność [%]
	0	0,5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	18h	24h	
1	405,6	422,1	427,2	433,9	439,1	442,2	445,7	447,7	468,8	469,1	15,64
2	412,0	426,0	430,7	436,9	441,8	445,0	448,4	450,5	475,3	475,6	15,42
3	416,1	432,0	437,4	443,7	448,6	451,8	455,1	457,3	480,9	481,3	15,67
4	404,4	416,2	420,4	426,3	431,2	434,1	437,4	439,1	466,2	466,7	15,40
5	420,0	433,6	438,53	444,9	450,0	453,1	456,7	458,6	485,0	485,5	15,60
6	412,2	428,0	432,90	439,7	445,2	448,5	452,4	454,6	474,8	475,2	15,27
7	421,5	435,0	439,92	446,8	452,1	455,5	459,0	461,2	486,0	486,5	15,42
8	417,1	432,7	437,88	444,3	449,4	452,5	456,1	458,0	482,2	482,7	15,74
9	406,8	423,2	427,90	433,7	438,3	441,3	444,8	447,0	470,4	470,8	15,72
10	418,8	432,0	436,87	443,1	447,9	450,7	454,0	456,9	484,4	484,7	15,73
11	409,7	424,8	429,55	435,8	441,1	444,4	448,0	450,5	472,6	473,0	15,45
12	406,2	423,13	428,38	435,2	440,6	443,9	447,5	449,5	469,0	469,4	15,56
13	416,1	433,7	439,7	447,5	453,2	456,6	460,3	462,3	481,9	482,3	15,92
14	404,6	419,3	423,9	430,5	435,5	438,7	442,3	444,5	467,0	467,5	15,56
15	410,3	426,5	431,8	439,0	444,4	447,7	451,3	453,4	474,5	474,9	15,74
Δm										15,6	

Tab. 13.33 Oznaczanie kapilarnego podciągania zaprawy wapienno-cementowej

Lp.	Masy próbki [g]										Kapilarność [%]
	0	0,5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	18h	24h	
1	400,3	417,7	423,7	430,7	436,3	439,3	442,9	445,0	477,0	477,8	19,37
2	412,2	432,0	438,3	445,8	455,1	455,6	459,6	462,0	495,7	495,8	20,29
3	402,6	417,6	423,3	429,9	435,4	438,8	442,1	444,4	476,6	477,6	18,64
4	408,3	429,8	436,5	444,4	451,0	454,4	458,4	460,9	490,6	491,7	20,42
5	414,6	435,2	441,7	449,1	455,2	458,3	461,9	464,3	495,6	496,0	19,63
6	412,1	431,7	438,0	445,8	452,1	455,3	459,0	461,4	495,1	495,5	20,22
7	399,2	418,9	425,1	432,2	438,2	441,3	444,9	447,0	480,1	481,0	20,47
8	401,8	421,2	427,8	435,7	441,9	455,3	449,0	451,4	482,8	483,1	20,22
9	400,8	418,6	424,5	431,2	436,6	439,7	442,9	444,9	476,2	477,2	19,07
10	401,6	418,7	424,7	432,1	438,3	441,6	445,6	448,0	480,5	480,8	19,72
11	399,4	419,9	425,8	432,6	438,1	441,0	444,4	446,6	479,8	480,1	20,20
12	413,6	435,3	441,5	449,1	455,2	458,6	462,3	464,7	497,1	497,2	20,22
13	407,7	428,2	434,2	441,4	447,3	450,6	454,5	456,6	489,3	489,6	20,09
14	400,5	419,3	425,3	432,4	438,2	441,3	445,0	447,3	480,2	480,5	19,96
15	406,2	424,8	431,0	438,3	445,7	447,5	451,3	453,55	486,39	486,8	19,83
Δm										19,9	

Tab. 13.34 Oznaczanie kapilarnego podciągania zaprawy trasowej

Lp.	Masy próbki [g]									Kapilarność [%]
	0	0,5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	24h	
1	392,53	403,71	408,04	413,61	416,41	418,69	420,96	424,75	445,18	13,41
2	402,56	412,53	417,32	423,12	426,16	428,48	430,79	434,92	456,30	13,35
3	397,90	410,97	415,70	421,44	424,33	426,62	428,90	432,14	452,10	13,62
4	398,09	408,36	412,63	418,48	421,54	423,95	426,35	429,91	449,61	12,94
5	396,93	405,52	409,95	415,59	418,59	421,06	423,52	427,14	448,86	13,08
6	396,51	406,05	410,15	415,62	418,58	420,98	423,37	427,48	449,35	13,33
7	393,43	401,90	406,38	412,32	415,38	417,76	420,14	424,26	446,06	13,38
8	397,74	409,40	414,01	419,72	422,70	425,16	427,62	431,30	453,27	13,96
9	395,49	403,57	407,51	413,13	416,10	418,53	420,95	424,62	447,68	13,20
10	395,94	406,36	410,29	415,65	418,52	420,84	423,16	426,51	448,25	13,21
11	396,83	406,47	411,16	416,95	419,97	422,30	424,62	428,93	449,89	13,37
12	399,13	410,10	414,30	419,98	423,15	425,56	427,97	432,28	455,16	14,04
13	397,65	407,66	412,28	418,32	421,73	424,35	426,97	431,26	456,03	14,68
14	405,76	416,29	420,82	426,76	430,19	432,75	435,31	439,52	464,33	14,43
15	392,73	403,21	407,7	413,71	417,21	419,88	422,54	426,32	448,71	14,25
Δm										13,6

Tab. 13.35 Oznaczanie kapilarnego podciągania zaprawy trasowej modyfikowanej pianą

Lp.	Dodatek piany	Masa próbki [h]										Kapila. [%]	Δm [%]
		0	0,5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	10h	24h		
1	1:1	194,9	201,9	204,0	206,5	208,4	209,6	211,0	212,0	214,6	217,1	11,4	11,4
2		197,4	204,3	206,3	209,2	211,1	212,2	213,4	214,3	216,6	219,7	11,3	
3		198,1	205,1	207,2	210,2	212,4	213,4	214,6	215,6	218,1	221,0	11,6	
4	1:0,5	302,8	311,2	314,3	318,1	321,0	322,7	324,6	326,2	330,7	338,2	11,7	12,5
5		307,7	316,0	319,0	323,0	326,2	328,1	330,2	331,9	336,8	345,1	12,2	
6		307,9	318,8	322,1	327,4	331,0	333,2	335,4	337,4	342,3	350,1	13,7	
7	1:0,4	326,8	336,0	339,2	343,2	346,3	348,1	350,4	352,2	356,7	364,2	11,4	11,7
8		328,6	338,3	341,5	345,9	349,2	351,1	353,5	355,4	360,1	367,4	11,8	
9		329,1	338,1	341,3	345,3	348,6	350,5	352,7	354,6	359,7	368,7	12,0	

13.4.1. Oznaczanie gęstości pozornej

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-85 B-04500

Zasada badania polega na określeniu masy oraz objętością danej próbki i obliczeniu gęstości objętościowej. Oznaczanie gęstości objętościowej zaprawy określono po wysuszeniu do stałej masy. Oznaczanie to wykonano na próbkach $4 \times 4 \times 16$ cm. Ze względu na regularność kształtu beleczek przyjęto wymiary $4 \times 4 \times 16$ cm. Gęstość objętościową zaprawy w stanie suchym (ρ_s) oblicza się w g/cm^3 wg wzoru:

$$\rho_p = \frac{m_s}{V} \quad (13.12)$$

Gdzie:

V - objętość próbki [cm^3],

m_s - masa próbki wysuszonej do stałej masy [g]. [166]

Tab. 13.36 Oznaczanie gęstości pozornej zaprawy wapiennej

Lp.	Masa próbki suchej [g]	Objętość próbki [cm^3]	Gęstość [g/cm^3]
1	405,92	$4 \times 4 \times 16 = 256$	1,59
2	412,22		1,61
3	416,17		1,63
4	404,74		1,58
5	420,19		1,64
6	412,33		1,61
7	421,56		1,65
8	417,33		1,63
9	406,82		1,59
10	419,07		1,64
11	409,81		1,60
12	406,23		1,59
13	416,34		1,63
14	404,80		1,58
15	414,38		1,62
		$\Delta \rho_p$	1,61

Tab. 13.37 Oznaczanie gęstości pozornej zaprawy wapienno-cementowej

Lp.	Masa próbki suchej [g]	Objętość próbki [cm ³]	Gęstość [g/cm ³]
1	400,11	4 x 4 x 16 = 256	1,56
2	411,82		1,61
3	412,65		1,61
4	402,68		1,57
5	407,83		1,59
6	414,11		1,62
7	411,63		1,61
8	399,13		1,56
9	401,84		1,57
10	400,69		1,57
11	401,69		1,57
12	399,11		1,56
13	413,17		1,61
14	407,25		1,59
15	408,93		1,60
		$\Delta \rho_p$	1,59

Tab. 13.38 Oznaczanie gęstości pozornej zaprawy trasowej

Lp.	Masa próbki suchej [g]	Objętość próbki [cm ³]	Gęstość [g/cm ³]
1	391,65	4 x 4 x 16 = 256	1,53
2	401,36		1,57
3	396,78		1,55
4	396,90		1,55
5	396,12		1,55
6	395,56		1,55
7	392,22		1,53
8	396,62		1,55
9	394,38		1,54
10	394,64		1,54
11	395,10		1,54
12	397,39		1,55
13	395,97		1,55
14	403,88		1,58
15	390,92		1,53
		$\Delta \rho_p$	1,55

Tab. 13.39 Oznaczanie gęstości pozornej zaprawy trasowej modyfikowanej pianą

Lp.	Proporcja wymieszania z pianą	Masa próbki suchej [g]	Objętość próbki [cm ³]	Gęstość [g/cm ³]	$\Delta \rho_p$ [g/cm ³]
1	1:1	193,59	4 x 4 x 16 = 256	0,76	0,76
2		195,97		0,77	
3		196,74		0,77	
4	1:0,5	301,72		1,18	1,19
5		306,70		1,20	
6		306,84		1,20	
7	1:0,4	325,85		1,27	1,28
8		327,39		1,28	
9		328,00		1,28	

13.4.2. Oznaczanie gęstości metodą piknometryczną

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN 1936:2001

Badaniu należy poddać minimum trzy próbki. Próbki rozdrobniono w moździerz tak, aby zmielona substancja przeszła przez sito o boku oczka 0,08mm. Następnie próbki wysuszono w temperaturze ok. 105°C a następnie wysuszono w eksykatorze.

Po przygotowaniu próbek przystąpiono do wykonania oznaczenia. Sześć wysuszonych piknometrów zważono z dokładnością do 0,001g. Z każdej próbki wsypano po około 10g do dwóch piknometrów i ponownie zważono. Z różnicy mas znaleziono masę wsypanego materiału [m] z dokładnością do 0,001g. Następnie do każdego piknometru wiano tyle denaturatu, by przykrył całą próbkę. W celu usunięcia powietrza mogącego znajdować się między ziarnkami proszku umieszczono w eksykatorze próżniowym i zmniejszono ciśnienie do 17, 5 Tr przy temperaturze 20°C. W eksykatorze piknometrów przebywały 30 minut. Po usunięciu powietrza dopełniono piknometry płynem do wierzchu, usunięto płyn z korka i piknometrów za pomocą zwilżonej bibuły do odsączania, a następnie zważono z dokładnością do 0,001g [m₂]. Na koniec piknometry umyto, wysuszono i zmierzono ich masę z samym płynem

z dokładnością do 0,001g [m₁]. Badanie wykonywano w temp. 20 +/- 2°C. Gęstości badanego materiału obliczono z dokładnością do trzech miejsc po przecinku według wzoru:

$$\rho = \frac{m}{m + m_1 - m_2} \cdot \rho_x \quad (13.13)$$

Gdzie:

ρ – gęstość materiału

m - masa próbki[g],

m₁ – masa piknomietru z płynem[g],

m₂ - masa próbki z piknometrem i płynem[g],

ρ_x - gęstość zastosowanego płynu w temp. 20°C w g/cm³

Tab. 13.40 Oznaczanie gęstości właściwej zaprawy wapiennej

Nr próbki	Masa piknomietru [g]	Masa piknomietru z próbką wysuszoną [g]	Masa próbki (m) [g]	Masa piknomietru z próbką i płynem (m2) [g]	Masa piknomietru z płynem (m1) [g]	Gęstość [g/cm ³]	Średnia gęstość z próbki [g/cm ³]
1	16,960	26,887	9,927	64,163	57,423	2,56	2,57
	21,171	31,133	9,962	67,294	60,522	2,57	
2	17,921	27,888	9,967	66,229	59,437	2,58	2,58
	15,824	25,811	9,987	62,106	55,308	2,58	
3	19,754	29,715	9,961	65,423	58,658	2,57	2,58
	16,868	26,862	9,994	62,856	56,036	2,59	
						$\Delta \rho$	2,58

Tab. 13.41 Oznaczanie gęstości właściwej zaprawy wapienno-cementowej

Nr próbki	Masa piknomietru [g]	Masa piknomietru z próbką wysuszoną do stałej masy [g]	Masa próbki (m) [g]	Masa piknomietru z próbką i płynem (m2) [g]	Masa piknomietru z płynem (m1) [g]	Gęstość [g/m3]	Średnia gęstość z próbki [g/m3]
1	15,824	25,734	9,910	61,972	55,308	2,51	2,52
	16,868	27,098	10,230	62,942	56,036	2,53	
2	21,171	31,272	10,101	67,339	60,522	2,53	2,53
	17,921	27,963	10,042	66,204	59,437	2,52	
3	16,960	27,141	10,181	64,263	57,423	2,51	2,50
	19,754	30,183	10,429	65,656	58,658	2,50	
						$\Delta \rho$	2,52

Tab. 13.42 Oznaczanie gęstości właściwej zaprawy trasowej

Nr próbki	Masa piknometru [g]	Masa piknometru z próbką wysuszoną do stałej masy [g]	Masa próbki (m) [g]	Masa piknometru z próbką i płynem (m2) [g]	Masa piknometru z płynem (m1) [g]	Gęstość [g/m ³]	Średnia gęstość z próbki [g/m ³]
1	15,824	25,734	9,910	61,812	55,308	2,39	2,38
	16,868	27,098	10,230	62,710	56,036	2,37	
2	21,171	31,272	10,101	67,123	60,522	2,38	2,38
	15,824	25,746	9,922	61,797	55,308	2,38	
3	16,960	27,141	10,181	64,145	57,423	2,42	2,43
	16,868	26,848	9,980	62,641	56,036	2,43	
						$\Delta \rho$	2,40

13.4.3. Oznaczenie otwartej porowatości i szczelności

Szczelność i porowatość materiału skalnego oblicza się na podstawie gęstości i gęstości pozornej według wzorów:

$$s = \frac{\rho_p}{\rho} \quad (13.14)$$

$$p = 1 - s = 1 - \frac{\rho_p}{\rho} \quad (13.15)$$

Gdzie:

s – szczelność [%]

p – porowatość [%]

ρ_p - gęstość pozorna [kg/m³, g/cm³],

ρ - gęstość [kg/m³, g/cm³].

Tab. 13.43 Zestawienie wyników obliczeń porowatości i szczelności wszystkich zapraw

Nr próbki	Rodzaj zaprawy		Gęstość pozorna [kg/cm ³]	Gęstość właściwa [kg/cm ³]	Szczelność [%]	Porowatość [%]
1	Zaprawa wapienna		1,61	2,58	62	38
3	Zaprawa wapienno - cementowa		1,56	2,57	61	39
4	Zaprawa trasowa		1,55	2,40	65	35
5	Zaprawa trasowa spieniona	1 : 1	0,76	2,40	32	68
		1 : 0,5	1,19		50	50
		1 : 0,4	1,28		53	47

13.5. ZAŁĄCZNIK 5 – CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO – MECHANICZNYCH OPOKI PO HYDROFOBIZACJI

13.5.1. Oznaczenie kapilarnego podciągania.

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą: PN-EN 1925 : Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczenie współczynnika nasiąkliwości kapilarnej.[199]

Próbki do badania powinny mieć szorstką powierzchnię cięcia lub jedną lub dwie powierzchnie polerowane lub łupane. Powierzchnie te należy umieścić pionowo.

Badane próbki suszymy do stałej masy , następnie ważymy z dokładnością do 0,01 g. Zanurzoną powierzchnię obliczamy mierząc jej dwie środkowe z dokładnością do 0,1mm. Próbki umieszczamy w kuwecie , płaszczyznami anizotropii w kierunku wznoszenia wody. Zanurzamy próbki w wodzie na głębokość 3mm. Przez całe badanie utrzymujemy stały poziom wody. Wyjmujemy kolejno próbki wycieramy wilgotną ściereczką zanurzone powierzchnie i ważymy z dokładnością do 0,01 g . Czasy zanurzenia próbek wykonano po upływie 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480, 1440 min. [199]

Wyniki przedstawiamy stosując wzór:

$$C_{1\text{lub}C_2} = \frac{m_i - m_d}{A \times \sqrt{t_i}} \quad (13.16)$$

Gdzie:

m_i - kolejne masy próbki do badania, w gramach

m_d - masa suchej próbki do badania, w gramach

A – powierzchnia zanurzona w wodzie, w metrach kwadratowych

t_i – czas, który upłynął od początku badania do momentu, w którym wykonano pomiar kolejnej masy próbki m_i w sekundach

C_1 – współczynnik nasiąkliwości kapilarnej wodą, zmierzony w kierunku prostopadłym do płaszczyzny anizotropii kamienia, w gramach na m^2 i na $\sqrt{s}$

C_2 - współczynnik nasiąkliwości kapilarnej wodą, zmierzony w kierunku równoległym do płaszczyzny anizotropii kamienia, w gramach na m^2 i na $\sqrt{s}$

Zastosowany wzór wybrano poszukując zależności regresyjnych dla zmiennej współczynnika nasiąkliwości kapilarnej oraz pierwiastka czasu podciągania kapilarnego. Do obliczeń zastosowano program Statistica.

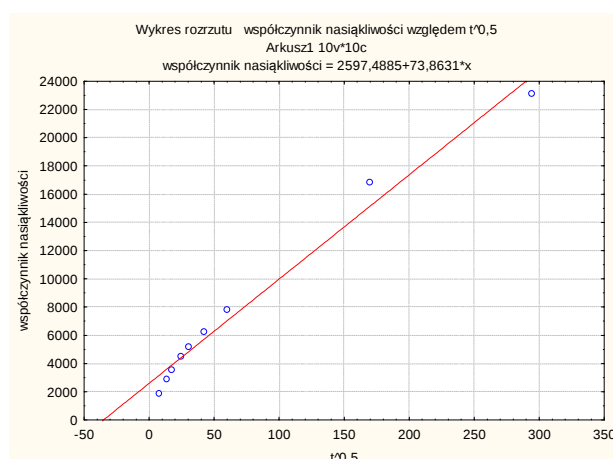
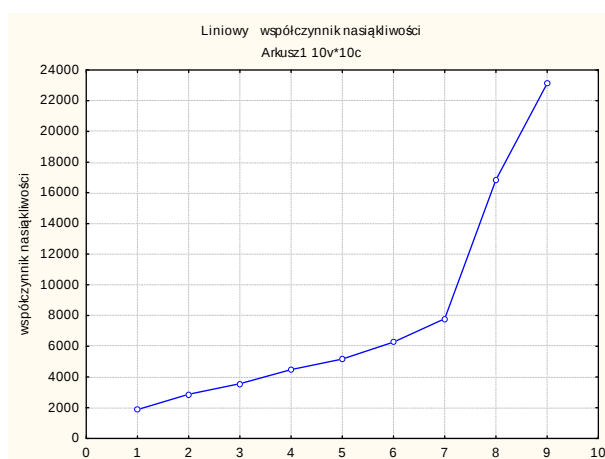
I.

- Wyznaczono prostą regresji. Współczynniki prostej to wartości b pokazane w tabeli poniżej. Zatem prosta przyjmuje postać :

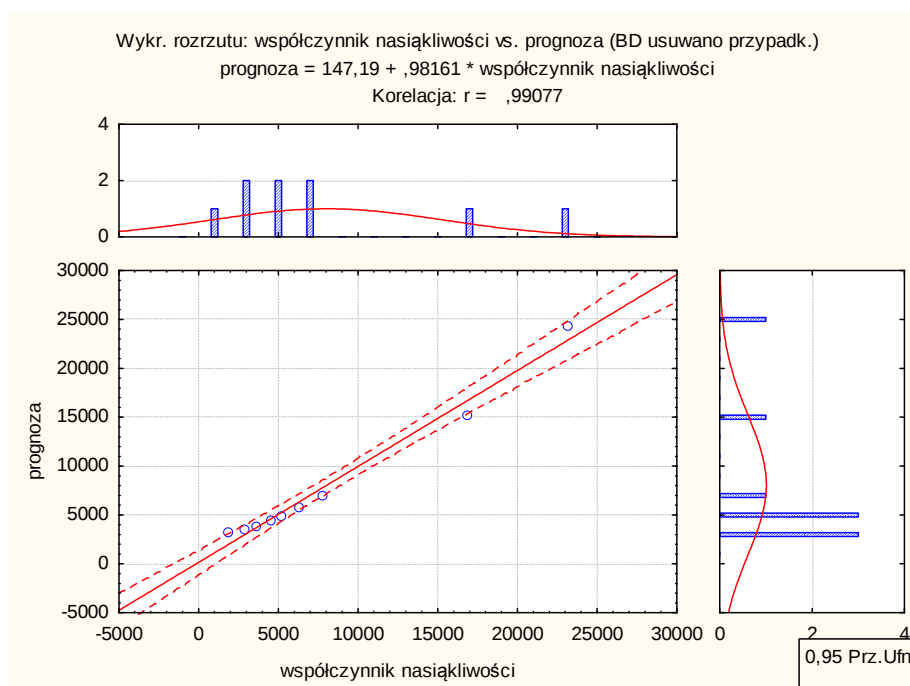
$$C = 2597,489 + 73,863 \cdot t^{0,5} \quad (13.17)$$

Tab. 13.44 Wyznaczanie prostej regresji za pomocą programu Statistic.

N=9	Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: współczynnik nasiąkliwości (Arkusz1)					
	R= ,99076542 R^2= ,98161612 Skorygowany R2= ,97898986 F(1,7)=373,77 p<,00000 Błąd std. estymacji: 1042,0					
	b*	Bł. std. z b*	b	Bł. std. z b	t(7)	p
W. wolny			2597,489	445,9858	5,82415	0,000647
t ^{0,5}	0,990765	0,051247	73,863	3,8206	19,33309	0,000000



- Zgodnie z wymaganiami normy obliczono następnie współczynnik korelacji, uzyskano wartość $r = 0,99077$. Jest ona większa od wymagania normowego 0,90. Zatem można przyjąć, że prosta regresji jest rozwiązaniem właściwym.



- Celem stwierdzenia wielkości różnic pomiędzy wielkościami pomierzonymi oznaczonymi w tabeli poniżej jako Y oraz wielkościami prognozowanymi jako prosta wykonano analizę błędów gdzie ME, MAE, MPE oraz MAPE wyliczone są odpowiednio z następujących wzorów:

$$ME = \frac{\sum Y - Y_p}{n} \quad (13.18)$$

$$MAE = \sum \frac{|Y - Y_p|}{n} \quad (13.19)$$

$$MPE = \sum \frac{Y - Y_p}{Y} \times \frac{1}{n} \times 100\% \quad (13.20)$$

$$MAPE = \sum \frac{|Y - Y_p|}{Y} \times \frac{1}{n} \times 100\% \quad (13.21)$$

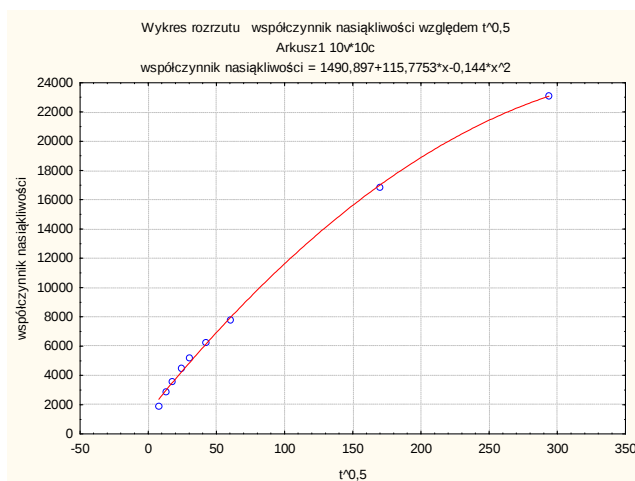
EX ANTE

Lp	Y	Yp	Y-Yp	Y-Yp	Y-Yp/Y	Y-Yp/Y
73	1888,443	3169,6293	-1281	1281,2	-0,678	0,6784
74	2878,007	3588,4651	-710,5	710,46	-0,247	0,2469
75	3570,065	3876,8337	-306,8	306,77	-0,086	0,0859
76	4493,604	4406,7556	86,849	86,849	0,0193	0,0193
77	5180,89	4813,379	367,51	367,51	0,0709	0,0709
78	6274,66	5731,2307	543,43	543,43	0,0866	0,0866
79	7805,142	7029,269	775,87	775,87	0,0994	0,0994
80	16840,87	15132,456	1708,4	1708,4	0,1014	0,1014
81	23125,08	24308,688	-1184	1183,6	-0,051	0,0512
1/(T-n) 0,1111		SUMA	0,0582	6964,1	-0,685	1,4401
T=84 n=72			ME=(1/T-n)*SUMA(Y-Yp) 0,0065			
			MAE=(1/T-n)*SUMA Y-Yp 773,79			
			MPE=(1/T-n)*SUMA(Y-Yp)/Y -7,608 %			
			MAPE=(1/T-n)*SUMA Y-Yp /Y 16,001 %			

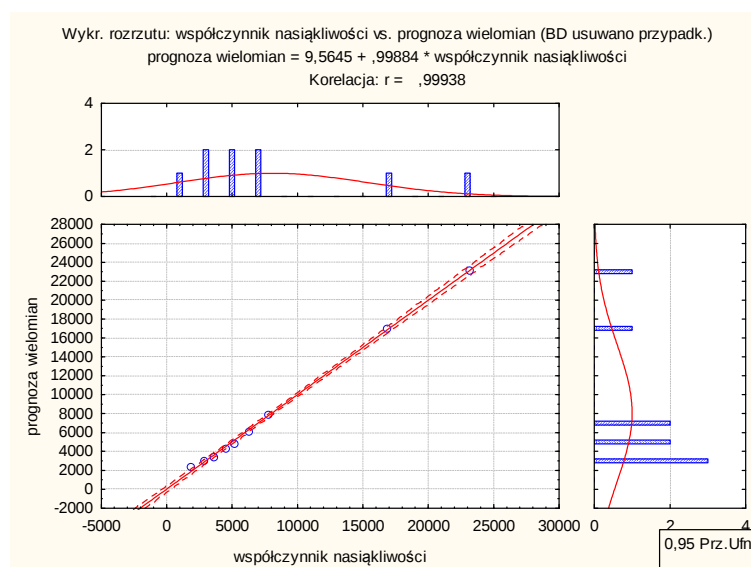
Wniosek : Błąd MAPE (midium average percentage error) wynosi 16%.

II.

Celem sprawdzenia dopasowania do otrzymanych wyników krzywej wielomianowej wykonano wykres i obliczenia zamieszczone poniżej.



- Otrzymano współczynniki wielomianu drugiego stopnia i krzywa regresji przyjmuje następującą postać :
- $C = 1490,897 + 115,7753 \cdot t^{0,5} - 0,144 \cdot t$ Zgodnie z wymaganiami normy obliczono następnie współczynnik korelacji, uzyskano wartość $r = 0,99938$. Jest ona większa od wymagania normowego 0,90.



- Wykonano analizę błędów

EX ANTE

Lp	Y	Yp	Y-Yp	Y-Yp	Y-Yp/Y	Y-Yp/Y
73	1888,443	2379,0416	-490,6	490,6	-0,26	0,2598
74	2878,007	3018,2586	-140,3	140,25	-0,049	0,0487
75	3570,065	3452,977	117,09	117,09	0,0328	0,0328
76	4493,604	4240,3941	253,21	253,21	0,0563	0,0563
77	5180,89	4834,549	346,34	346,34	0,0669	0,0669
78	6274,66	6143,62	131,04	131,04	0,0209	0,0209
79	7805,142	7919,008	-113,9	113,87	-0,015	0,0146
80	16840,87	16991,41	-150,5	150,54	-0,009	0,0089
81	23125,08	23080,139	44,94	44,94	0,0019	0,0019
1/(T-n)						
0,1111		SUMA	-2,633	1787,9	-0,153	0,5109
T=84 n=72			ME=(1/T-n)*SUMA(Y-Yp)			
			-0,293			
			MAE=(1/T-n)*SUMA Y-Yp			
			198,65			
			MPE=(1/T-n)*SUMA(Y-Yp)/Y			
			-1,703 %			
			MAPE=(1/T-n)*SUMA Y-Yp /Y			
			5,6764 %			

Wniosek : Po obliczeniu błędów EX ANTE otrzymano wynik MAPE=5,67%.

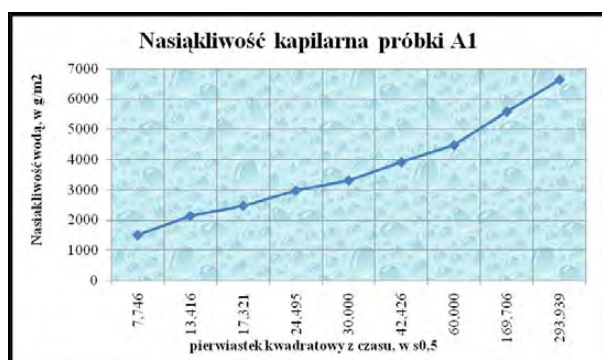
Wnioski końcowe z obliczeń:

- Przyjęcie zarówno zależności liniowej jak i wielomianu rzędu drugiego pomiędzy współczynnikiem kapilarności a pierwiastkiem czasu podciągania kapilarnego jest dopuszczalne ze względu , że w obydwu przypadkach współczynnik korelacji jest większy od wymaganego normowo 0,9 i wynosi odpowiednio 0,99077 i 0,99938.

- Rozbieżność wyników od prognozowanej wartości jest mniejsza 3 krotnie w przypadku wielomianu stopnia drugiego w odniesieniu do prostej co obrazuje MAPE , który osiąga wartość 16,001% dla prostej i 5,67% dla wielomianu.
- Proponuje się przyjęcie zależności pomiędzy współczynnikiem kapilarności, a pierwiastkiem czasu podciągania kapilarnego w postaci wielomianu stopnia drugiego , zatem równanie przyjmuje postać $C = 1490,897 + 115,7753 \cdot t^{0,5} - 0,144 \cdot t$
- Współczynnik podciągania kapilarnego obliczony zostanie ze wzoru normy PN – EN 1925 Metody badań kamienia naturalnego punkt 8 str. 5.

Opracowanie wyników nasiąkliwości kapilarnej opoki.

Próbki strefy A



Rys. 13.23 Kapilarne podciąganie opoki (A1 – próbki, które uległy hydrofobizacji).



Rys. 13.24 Kapilarne podciąganie opoki (A2 – próbki, które uległy hydrofobizacji).

Tab. 13.45 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A1.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m^2]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1
337,78	340,08	2,300	0,001528	7,746	194,325
337,78	341,05	3,270	0,001528	13,416	159,510
337,78	341,56	3,780	0,001528	17,321	142,826
337,78	342,33	4,550	0,001528	24,495	121,566
337,78	342,84	5,060	0,001528	30,000	110,384
337,78	343,76	5,980	0,001528	42,426	92,245
337,78	344,62	6,840	0,001528	60,000	74,607
337,78	346,31	8,530	0,001528	169,706	32,895
337,78	347,92	10,140	0,001528	293,939	22,577

Y g/m^2	X $\sqrt{t}$ [s]
1505,236	7,746
2140,052	13,416
2473,822	17,321
2977,749	24,495
3311,518	30,000
3913,613	42,426
4476,440	60,000
5582,461	169,706
6636,126	293,939

Gdzie:

m_i - kolejne masy próbki do badania, w gramach

m_d - masa suchej próbki do badania, w gramach

A - powierzchnia zanurzona w wodzie, w metrach kwadratowych

t_i - czas, który upłynął od początku badania do momentu, w którym wykonano pomiar kolejnej masy próbki m_i w sekundach

C1 – współczynnik nasiąkliwości kapilarnej wodą, zmierzony w kierunku prostym do płaszczyzny anizotropii kamienia, w gramach na m^2 i na $\sqrt{s}$

C2 - współczynnik nasiąkliwości kapilarnej wodą, zmierzony w kierunku równoległym do płaszczyzny anizotropii kamienia, w gramach na m^2 i na $\sqrt{s}$

Y – nasiąkliwość wodą w g/m^2

X – pierwiastek kwadratowy z czasu w s 0,5

Tab. 13.46 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A2.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m^2]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m^2	X $\sqrt{t}$ [s]
309,93	310,52	0,590	0,001292	7,746	58,954	456,656	7,746
309,93	310,57	0,640	0,001292	13,416	36,922	495,356	13,416
309,93	310,66	0,730	0,001292	17,321	32,621	565,015	17,321
309,93	310,71	0,780	0,001292	24,495	24,647	603,715	24,495
309,93	310,79	0,860	0,001292	30,000	22,188	665,635	30,000
309,93	310,93	1,000	0,001292	42,426	18,243	773,994	42,426
309,93	311,05	1,120	0,001292	60,000	14,448	866,873	60,000
309,93	311,90	1,970	0,001292	169,706	8,985	1524,768	169,706
309,93	312,69	2,760	0,001292	293,939	7,268	2136,223	293,939



Rys. 13.25 Kapilarne podciąganie opoki (A3 – próbki, które uległy hydrofobizacji).



Rys. 13.26 Kapilarne podciąganie opoki (A4 – próbki, które uległy hydrofobizacji).

Tab. 13.47 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A3.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
360,85	363,55	2,700	0,001669	7,746	208,849	1617,735	7,746
360,85	365,25	4,400	0,001669	13,416	196,499	2636,309	13,416
360,85	366,33	5,480	0,001669	17,321	189,567	3283,403	17,321
360,85	367,88	7,030	0,001669	24,495	171,958	4212,103	24,495
360,85	369,16	8,310	0,001669	30,000	165,968	4979,029	30,000
360,85	372,15	11,300	0,001669	42,426	159,583	6770,521	42,426
360,85	374,63	13,780	0,001669	60,000	137,607	8256,441	60,000
360,85	378,44	17,590	0,001669	169,706	62,103	10539,245	169,706
360,85	379,86	19,010	0,001669	293,939	38,750	11390,054	293,939

Tab. 13.48 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A4.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
354,75	357,65	2,900	0,001616	7,746	231,676	1794,554	7,746
354,75	359,53	4,780	0,001616	13,416	220,470	2957,921	13,416
354,75	360,70	5,950	0,001616	17,321	212,576	3681,931	17,321
354,75	362,32	7,570	0,001616	24,495	191,240	4684,406	24,495
354,75	363,95	9,200	0,001616	30,000	189,769	5693,069	30,000
354,75	366,07	11,320	0,001616	42,426	165,108	7004,950	42,426
354,75	368,11	13,360	0,001616	60,000	137,789	8267,327	60,000
354,75	372,36	17,610	0,001616	169,706	64,213	10897,277	169,706
354,75	373,51	18,760	0,001616	293,939	39,494	11608,911	293,939



Rys. 13.27 Kapilarne podciąganie opoki (A5 – próbki, które uległy hydrofobizacji).



Rys. 13.28 Kapilarne podciąganie opoki (A6 – próbki, które uległy hydrofobizacji).

Tab. 13.49 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A5.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
365,88	366,65	0,770	0,001652	7,746	60,173	466,102	7,746
365,88	366,75	0,870	0,001652	13,416	39,253	526,634	13,416
365,88	366,83	0,950	0,001652	17,321	33,201	575,061	17,321
365,88	366,87	0,990	0,001652	24,495	24,465	599,274	24,495
365,88	366,90	1,020	0,001652	30,000	20,581	617,433	30,000
365,88	367,07	1,190	0,001652	42,426	16,979	720,339	42,426
365,88	367,24	1,360	0,001652	60,000	13,721	823,245	60,000
365,88	368,24	2,360	0,001652	169,706	8,418	1428,571	169,706
365,88	369,21	3,330	0,001652	293,939	6,858	2015,738	293,939

Tab. 13.50 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A6.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
356,78	358,38	1,600	0,001628	7,746	126,879	982,801	7,746
356,78	359,01	2,230	0,001628	13,416	102,097	1369,779	13,416
356,78	359,30	2,520	0,001628	17,321	89,369	1547,912	17,321
356,78	359,78	3,000	0,001628	24,495	75,230	1842,752	24,495
356,78	360,07	3,290	0,001628	30,000	67,363	2020,885	30,000
356,78	360,47	3,690	0,001628	42,426	53,424	2266,585	42,426
356,78	360,69	3,910	0,001628	60,000	40,029	2401,720	60,000
356,78	361,66	4,880	0,001628	169,706	17,663	2997,543	169,706
356,78	363,25	6,470	0,001628	293,939	13,521	3974,201	293,939



Rys. 13.29 Kapilarne podciąganie opoki (A7 – próbki, które uległy hydrofobizacji).



Rys. 13.30 Kapilarne podciąganie opoki (A8 – próbki, które uległy hydrofobizacji).

Tab. 13.51 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A7.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
380,88	382,82	1,940	0,001556	7,746	160,959	1246,787	7,746
380,88	383,56	2,680	0,001556	13,416	128,378	1722,365	13,416
380,88	383,86	2,980	0,001556	17,321	110,572	1915,167	17,321
380,88	384,35	3,470	0,001556	24,495	91,043	2230,077	24,495
380,88	384,69	3,810	0,001556	30,000	81,620	2448,586	30,000
380,88	385,28	4,400	0,001556	42,426	66,651	2827,763	42,426
380,88	385,67	4,790	0,001556	60,000	51,307	3078,406	60,000
380,88	387,47	6,590	0,001556	169,706	24,956	4235,219	169,706
380,88	389,28	8,400	0,001556	293,939	18,366	5398,458	293,939

Tab. 13.52 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A8.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
401,59	402,82	1,230	0,001660	7,746	95,658	740,964	7,746
401,59	403,15	1,560	0,001660	13,416	70,046	939,759	13,416
401,59	403,25	1,660	0,001660	17,321	57,735	1000,000	17,321
401,59	403,47	1,880	0,001660	24,495	46,235	1132,530	24,495
401,59	403,51	1,920	0,001660	30,000	38,554	1156,627	30,000
401,59	403,79	2,200	0,001660	42,426	31,238	1325,301	42,426
401,59	404,00	2,410	0,001660	60,000	24,197	1451,807	60,000
401,59	405,17	3,580	0,001660	169,706	12,708	2156,627	169,706
401,59	406,78	5,190	0,001660	293,939	10,637	3126,506	293,939



Rys. 13.31 Kapilarne podciąganie opoki (A9 – próbki, które uległy hydrofobizacji).



Rys. 13.32 Kapilarne podciąganie opoki (A10 – próbki, które uległy hydrofobizacji).

Tab. 13.53 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A9.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
378,14	380,64	2,500	0,001577	7,746	204,660	1585,289	7,746
378,14	382,02	3,880	0,001577	13,416	183,385	2460,368	13,416
378,14	382,81	4,670	0,001577	17,321	170,972	2961,319	17,321
378,14	383,98	5,840	0,001577	24,495	151,184	3703,234	24,495
378,14	385,00	6,860	0,001577	30,000	145,001	4350,032	30,000
378,14	386,28	8,140	0,001577	42,426	121,662	5161,699	42,426
378,14	387,06	8,920	0,001577	60,000	94,272	5656,309	60,000
378,14	391,60	13,460	0,001577	169,706	50,294	8535,193	169,706
378,14	394,91	16,770	0,001577	293,939	36,178	10634,115	293,939

Tab. 13.54 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A10.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
339,95	340,99	1,040	0,001600	7,746	83,915	650,000	7,746
339,95	341,26	1,310	0,001600	13,416	61,026	818,750	13,416
339,95	341,38	1,430	0,001600	17,321	51,601	893,750	17,321
339,95	341,54	1,590	0,001600	24,495	40,570	993,750	24,495
339,95	341,60	1,650	0,001600	30,000	34,375	1031,250	30,000
339,95	341,79	1,840	0,001600	42,426	27,106	1150,000	42,426
339,95	341,98	2,030	0,001600	60,000	21,146	1268,750	60,000
339,95	343,17	3,220	0,001600	169,706	11,859	2012,500	169,706
339,95	344,50	4,550	0,001600	293,939	9,675	2843,750	293,939



Rys. 13.33 Kapilarne podciąganie opoki (A11 – próbki, które uległy hydrofobizacji).



Rys. 13.34 Kapilarne podciąganie opoki (A12 – próbki, które uległy hydrofobizacji).

Tab. 13.55 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A11.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
304,21	304,97	0,760	0,001418	7,746	69,193	535,966	7,746
304,21	305,23	1,020	0,001418	13,416	53,615	719,323	13,416
304,21	305,41	1,200	0,001418	17,321	48,859	846,262	17,321
304,21	305,67	1,460	0,001418	24,495	42,034	1029,619	24,495
304,21	305,81	1,600	0,001418	30,000	37,612	1128,350	30,000
304,21	306,07	1,860	0,001418	42,426	30,917	1311,707	42,426
304,21	306,58	2,370	0,001418	60,000	27,856	1671,368	60,000
304,21	308,43	4,220	0,001418	169,706	17,536	2976,023	169,706
304,21	309,51	5,300	0,001418	293,939	12,716	3737,659	293,939

Tab. 13.56 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A12.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
339,21	339,88	0,670	0,001645	7,746	52,582	407,295	7,746
339,21	339,95	0,740	0,001645	13,416	33,530	449,848	13,416
339,21	340,10	0,890	0,001645	17,321	31,237	541,033	17,321
339,21	340,21	1,000	0,001645	24,495	24,818	607,903	24,495
339,21	340,24	1,030	0,001645	30,000	20,871	626,140	30,000
339,21	340,36	1,150	0,001645	42,426	16,478	699,088	42,426
339,21	340,65	1,440	0,001645	60,000	14,590	875,380	60,000
339,21	341,50	2,290	0,001645	169,706	8,203	1392,097	169,706
339,21	342,87	3,660	0,001645	293,939	7,569	2224,924	293,939



Rys. 13.35 Kapilarne podciąganie opoki (A13 – próbki, które uległy hydrofobizacji).



Rys. 13.36 Kapilarne podciąganie opoki (A14 – próbki, które uległy hydrofobizacji).

Tab. 13.57 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A13.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
338,16	340,82	2,660	0,001504	7,746	228,327	1768,617	7,746
338,16	341,85	3,690	0,001577	13,416	174,405	2339,886	13,416
338,16	342,52	4,360	0,001577	17,321	159,623	2764,743	17,321
338,16	343,26	5,100	0,001577	24,495	132,027	3233,989	24,495
338,16	343,63	5,470	0,001577	30,000	115,620	3468,611	30,000
338,16	344,18	6,020	0,001577	42,426	89,976	3817,375	42,426
338,16	344,98	6,820	0,001577	60,000	72,078	4324,667	60,000
338,16	346,74	8,580	0,001577	169,706	32,060	5440,710	169,706
338,16	347,71	9,550	0,001577	293,939	20,602	6055,802	293,939

Tab. 13.58 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A14.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
391,33	393,92	2,590	0,001577	7,746	212,028	1642,359	7,746
391,33	394,99	3,660	0,001577	13,416	172,987	2320,862	13,416
391,33	395,81	4,480	0,001577	17,321	164,016	2840,837	17,321
391,33	396,71	5,380	0,001577	24,495	139,276	3411,541	24,495
391,33	397,06	5,730	0,001577	30,000	121,116	3633,481	30,000
391,33	397,50	6,170	0,001577	42,426	92,218	3912,492	42,426
391,33	397,96	6,630	0,001577	60,000	70,070	4204,185	60,000
391,33	399,35	8,020	0,001577	169,706	29,967	5085,606	169,706
391,33	401,29	9,960	0,001577	293,939	21,487	6315,789	293,939



Rys. 13.37 Kapilarne podciąganie opoki (A15 – próbki, które uległy hydrofobizacji).



Rys. 13.38 Kapilarne podciąganie opoki (A16 – próbki, które uległy hydrofobizacji).

Tab. 13.59 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A15.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
324,39	325,49	1,100	0,001346	7,746	105,505	817,236	7,746
324,39	325,77	1,380	0,001346	13,416	76,418	1025,260	13,416
324,39	325,90	1,510	0,001346	17,321	64,770	1121,842	17,321
324,39	326,16	1,770	0,001346	24,495	53,685	1315,007	24,495
324,39	326,24	1,850	0,001346	30,000	45,815	1374,443	30,000
324,39	326,40	2,010	0,001346	42,426	35,198	1493,314	42,426
324,39	326,76	2,370	0,001346	60,000	29,346	1760,773	60,000
324,39	327,66	3,270	0,001346	169,706	14,315	2429,421	169,706
324,39	329,09	4,700	0,001346	293,939	11,879	3491,828	293,939

Tab. 13.60 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki A16.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
352,74	354,29	1,550	0,001592	7,746	125,694	973,618	7,746
352,74	354,63	1,890	0,001592	13,416	88,488	1187,186	13,416
352,74	355,03	2,290	0,001592	17,321	83,048	1438,442	17,321
352,74	355,38	2,640	0,001592	24,495	67,699	1658,291	24,495
352,74	355,62	2,880	0,001592	30,000	60,302	1809,045	30,000
352,74	355,91	3,170	0,001592	42,426	46,933	1991,206	42,426
352,74	356,28	3,540	0,001592	60,000	37,060	2223,618	60,000
352,74	358,47	5,730	0,001592	169,706	21,209	3599,246	169,706
352,74	359,84	7,100	0,001592	293,939	15,173	4459,799	293,939

Próbki strefy B



Rys. 13.39 Kapilarne podciąganie opoki (B1 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).



Rys. 13.40 Kapilarne podciąganie opoki (B2 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).

Tab. 13.61 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B1.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1
338,07	340,31	2,240	0,001560	7,746	185,374
338,07	341,57	3,500	0,001560	13,416	167,227
338,07	342,32	4,250	0,001560	17,321	157,291
338,07	343,22	5,150	0,001560	24,495	134,774
338,07	344,01	5,940	0,001560	30,000	126,923
338,07	345,65	7,580	0,001560	42,426	114,527
338,07	348,10	10,030	0,001560	60,000	107,158
338,07	357,00	18,930	0,001560	169,706	71,504
338,07	366,92	28,850	0,001560	293,939	62,916

Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
1435,897	7,746
2243,590	13,416
2724,359	17,321
3301,282	24,495
3807,692	30,000
4858,974	42,426
6429,487	60,000
12134,615	169,706
18493,590	293,939

Tab. 13.62 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B2.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1
350,06	352,47	2,410	0,001444	7,746	215,464
350,06	354,14	4,080	0,001444	13,416	210,599
350,06	355,12	5,060	0,001444	17,321	202,312
350,06	356,35	6,290	0,001444	24,495	177,831
350,06	357,33	7,270	0,001444	30,000	167,821
350,06	359,14	9,080	0,001444	42,426	148,212
350,06	361,96	11,900	0,001444	60,000	137,350
350,06	374,63	24,570	0,001444	169,706	100,263
350,06	387,78	37,720	0,001444	293,939	88,868

Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
1668,975	7,746
2825,485	13,416
3504,155	17,321
4355,956	24,495
5034,626	30,000
6288,089	42,426
8240,997	60,000
17015,235	169,706
26121,884	293,939



Rys. 13.41 Kapilarne podciąganie opoki (B3 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).



Rys. 13.42 Kapilarne podciąganie opoki (B4 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).

Tab. 13.63 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B3.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
356,44	359,22	2,780	0,001640	7,746	218,839	1695,122	7,746
356,44	361,32	4,880	0,001640	13,416	221,789	2975,610	13,416
356,44	362,50	6,060	0,001640	17,321	213,338	3695,122	17,321
356,44	363,98	7,540	0,001640	24,495	187,695	4597,561	24,495
356,44	365,06	8,620	0,001640	30,000	175,203	5256,098	30,000
356,44	367,22	10,780	0,001640	42,426	154,931	6573,171	42,426
356,44	370,59	14,150	0,001640	60,000	143,801	8628,049	60,000
356,44	385,45	29,010	0,001640	169,706	104,234	17689,024	169,706
356,44	399,72	43,280	0,001640	293,939	89,781	26390,244	293,939

Tab. 13.64 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B4.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
379,43	382,31	2,880	0,001751	7,746	212,339	1644,774	7,746
379,43	384,40	4,970	0,001751	13,416	211,560	2838,378	13,416
379,43	385,64	6,210	0,001751	17,321	204,760	3546,545	17,321
379,43	387,38	7,950	0,001751	24,495	185,355	4540,263	24,495
379,43	388,64	9,210	0,001751	30,000	175,328	5259,852	30,000
379,43	391,20	11,770	0,001751	42,426	158,436	6721,873	42,426
379,43	394,55	15,120	0,001751	60,000	143,918	8635,066	60,000
379,43	408,25	28,820	0,001751	169,706	96,987	16459,166	169,706
379,43	420,25	40,820	0,001751	293,939	79,310	23312,393	293,939



Rys. 13.43 Kapilarne podciąganie opoki (B5 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).



Rys. 13.44 Kapilarne podciąganie opoki (B6 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).

Tab. 13.65 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B5.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
345,60	348,86	3,260	0,001494	7,746	281,703	2182,062	7,746
345,60	350,69	5,090	0,001494	13,416	253,940	3406,961	13,416
345,60	351,74	6,140	0,001494	17,321	237,278	4109,772	17,321
345,60	353,33	7,730	0,001494	24,495	211,229	5174,029	24,495
345,60	354,59	8,990	0,001494	30,000	200,580	6017,403	30,000
345,60	357,01	11,410	0,001494	42,426	180,011	7637,216	42,426
345,60	360,23	14,630	0,001494	60,000	163,208	9792,503	60,000
345,60	375,91	30,310	0,001494	169,706	119,547	20287,818	169,706
345,60	387,20	41,600	0,001494	293,939	94,730	27844,712	293,939

Tab. 13.66 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B6.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
379,35	382,21	2,860	0,002094	7,746	176,325	1365,807	7,746
379,35	383,48	4,130	0,002094	13,416	147,007	1972,302	13,416
379,35	384,34	4,990	0,002094	17,321	137,583	2382,999	17,321
379,35	385,61	6,260	0,002094	24,495	122,046	2989,494	24,495
379,35	386,67	7,320	0,002094	30,000	116,523	3495,702	30,000
379,35	388,44	9,090	0,002094	42,426	102,318	4340,974	42,426
379,35	390,83	11,480	0,002094	60,000	91,372	5482,330	60,000
379,35	402,53	23,180	0,002094	169,706	65,229	11069,723	169,706
379,35	414,81	35,460	0,002094	293,939	57,611	16934,097	293,939



Rys. 13.45 Kapilarne podciąganie opoki (B7 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).



Rys. 13.46 Kapilarne podciąganie opoki (B8 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).

Tab. 13.67 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B7.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
356,74	359,99	3,250	0,001513	7,746	277,312	2148,050	7,746
356,74	361,58	4,840	0,001513	13,416	238,435	3198,942	13,416
356,74	362,75	6,010	0,001513	17,321	229,337	3972,241	17,321
356,74	364,36	7,620	0,001513	24,495	205,608	5036,352	24,495
356,74	365,56	8,820	0,001513	30,000	194,316	5829,478	30,000
356,74	368,05	11,310	0,001513	42,426	176,193	7475,215	42,426
356,74	371,39	14,650	0,001513	60,000	161,379	9682,750	60,000
356,74	386,78	30,040	0,001513	169,706	116,994	19854,594	169,706
356,74	402,05	45,310	0,001560	293,939	98,813	29044,872	293,939

Tab. 13.68 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B8.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
349,52	352,95	3,430	0,001343	7,746	329,718	2553,984	7,746
349,52	354,73	5,210	0,001343	13,416	289,152	3879,375	13,416
349,52	355,96	6,440	0,001343	17,321	276,853	4795,235	17,321
349,52	357,64	8,120	0,001343	24,495	246,834	6046,165	24,495
349,52	358,93	9,410	0,001343	30,000	233,557	7006,701	30,000
349,52	361,27	11,750	0,001343	42,426	206,218	8749,069	42,426
349,52	363,56	14,040	0,001343	60,000	174,237	10454,207	60,000
349,52	371,60	22,080	0,001343	169,706	96,878	16440,804	169,706
349,52	379,66	30,140	0,001343	293,939	76,350	22442,293	293,939



Rys. 13.47 Kapilarne podciąganie opoki (B9 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji)



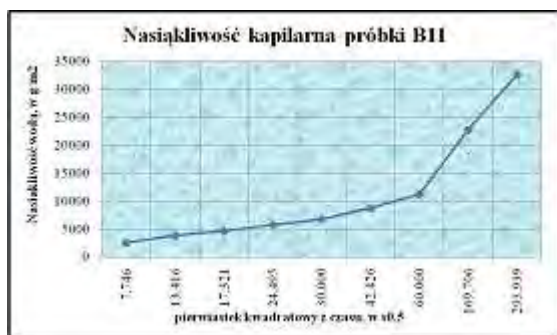
Rys. 13.48 Kapilarne podciąganie opoki (B10 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji)

Tab. 13.69 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B9.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
295,16	297,86	2,700	0,001401	7,746	248,800	1927,195	7,746
295,16	299,18	4,020	0,001401	13,416	213,871	2869,379	13,416
295,16	300,10	4,940	0,001401	17,321	203,577	3526,053	17,321
295,16	301,47	6,310	0,001401	24,495	183,872	4503,926	24,495
295,16	302,68	7,520	0,001401	30,000	178,920	5367,595	30,000
295,16	304,91	9,750	0,001401	42,426	164,033	6959,315	42,426
295,16	307,85	12,690	0,001401	60,000	150,964	9057,816	60,000
295,16	319,08	23,920	0,001401	169,706	100,607	17073,519	169,706
295,16	330,04	34,880	0,001401	293,939	84,700	24896,502	293,939

Tab. 13.70 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B10.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
309,47	311,90	2,430	0,001560	7,746	201,097	1557,692	7,746
309,47	312,95	3,480	0,001560	13,416	166,272	2230,769	13,416
309,47	313,67	4,200	0,001560	17,321	155,440	2692,308	17,321
309,47	314,65	5,180	0,001560	24,495	135,559	3320,513	24,495
309,47	315,45	5,980	0,001560	30,000	127,778	3833,333	30,000
309,47	316,62	7,150	0,001560	42,426	108,030	4583,333	42,426
309,47	318,22	8,750	0,001560	60,000	93,483	5608,974	60,000
309,47	325,66	16,190	0,001560	169,706	61,154	10378,205	169,706
309,47	332,72	23,250	0,001560	293,939	50,704	14903,846	293,939



Rys. 13.49 Kapilarne podciąganie opoki (B11 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).



Rys. 13.50 Kapilarne podciąganie opoki (B12 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).

Tab. 13.71 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B11.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
349,03	353,03	4,000	0,001548	7,746	333,590	2583,979	7,746
349,03	354,94	5,910	0,001548	13,416	284,564	3817,829	13,416
349,03	356,20	7,170	0,001548	17,321	267,416	4631,783	17,321
349,03	357,97	8,940	0,001548	24,495	235,771	5775,194	24,495
349,03	359,56	10,530	0,001548	30,000	226,744	6802,326	30,000
349,03	362,54	13,510	0,001548	42,426	205,707	8727,390	42,426
349,03	366,43	17,400	0,001548	60,000	187,339	11240,310	60,000
349,03	384,18	35,150	0,001548	169,706	133,801	22706,718	169,706
349,03	399,54	50,510	0,001548	293,939	111,007	32629,199	293,939

Tab. 13.72 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B12.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
392,45	395,97	3,520	0,001903	7,746	238,797	1849,711	7,746
392,45	397,75	5,300	0,001903	13,416	207,587	2785,076	13,416
392,45	398,84	6,390	0,001903	17,321	193,866	3357,856	17,321
392,45	400,63	8,180	0,001903	24,495	175,485	4298,476	24,495
392,45	402,06	9,610	0,001903	30,000	168,331	5049,921	30,000
392,45	404,34	11,890	0,001903	42,426	147,267	6248,029	42,426
392,45	407,57	15,120	0,001903	60,000	132,422	7945,349	60,000
392,45	422,92	30,470	0,001903	169,706	94,349	16011,561	169,706
392,45	440,48	48,030	0,001903	293,939	85,865	25239,096	293,939



Rys. 13.51 Kapilarne podciąganie opoki (B13 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).



Rys. 13.52 Kapilarne podciąganie opoki (B14 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).

Tab. 13.73 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B13.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
369,82	374,36	4,540	0,001737	7,746	337,427	2613,702	7,746
369,82	376,75	6,930	0,001737	13,416	297,370	3989,637	13,416
369,82	378,14	8,320	0,001737	17,321	276,543	4789,868	17,321
369,82	380,30	10,480	0,001737	24,495	246,312	6033,391	24,495
369,82	381,99	12,170	0,001737	30,000	233,544	7006,333	30,000
369,82	384,67	14,850	0,001737	42,426	201,507	8549,223	42,426
369,82	388,37	18,550	0,001737	60,000	177,989	10679,332	60,000
369,82	405,15	35,330	0,001737	169,706	119,853	20339,666	169,706
369,82	420,80	50,980	0,001737	293,939	99,849	29349,453	293,939

Tab. 13.74 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B14.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
351,13	354,97	3,840	0,001515	7,746	327,222	2534,653	7,746
351,13	357,02	5,890	0,001515	13,416	289,779	3887,789	13,416
351,13	358,35	7,220	0,001515	17,321	275,146	4765,677	17,321
351,13	360,42	9,290	0,001515	24,495	250,338	6132,013	24,495
351,13	362,10	10,970	0,001515	30,000	241,364	7240,924	30,000
351,13	364,57	13,440	0,001515	42,426	209,098	8871,287	42,426
351,13	368,13	17,000	0,001515	60,000	187,019	11221,122	60,000
351,13	384,66	33,530	0,001515	169,706	130,414	22132,013	169,706
351,13	397,71	46,580	0,001515	293,939	104,600	30745,875	293,939



Rys. 13.53 Kapilarne podciąganie opoki (B15 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).



Rys. 13.54 Kapilarne podciąganie opoki (B16 – próbki, które uległy tylko w części hydrofobizacji).

Tab. 13.75 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B15.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
362,38	366,75	4,370	0,001680	7,746	335,812	2601,190	7,746
362,38	369,14	6,760	0,001680	13,416	299,917	4023,810	13,416
362,38	370,56	8,180	0,001680	17,321	281,115	4869,048	17,321
362,38	372,63	10,250	0,001680	24,495	249,080	6101,190	24,495
362,38	374,28	11,900	0,001680	30,000	236,111	7083,333	30,000
362,38	377,17	14,790	0,001680	42,426	207,502	8803,571	42,426
362,38	381,14	18,760	0,001680	60,000	186,111	11166,667	60,000
362,38	399,41	37,030	0,001680	169,706	129,882	22041,667	169,706
362,38	410,55	48,170	0,001680	293,939	97,546	28672,619	293,939

Tab. 13.76 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki B16.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
360,58	364,92	4,340	0,001536	7,746	364,773	2825,521	7,746
360,58	367,38	6,800	0,001536	13,416	329,975	4427,083	13,416
360,58	368,68	8,100	0,001536	17,321	304,462	5273,438	17,321
360,58	370,79	10,210	0,001536	24,495	271,368	6647,135	24,495
360,58	372,21	11,630	0,001536	30,000	252,387	7571,615	30,000
360,58	374,63	14,050	0,001536	42,426	215,600	9147,135	42,426
360,58	378,04	17,460	0,001536	60,000	189,453	11367,188	60,000
360,58	394,66	34,080	0,001536	169,706	130,741	22187,500	169,706
360,58	408,64	48,060	0,001536	293,939	106,448	31289,063	293,939

Próbki strefy C



Rys. 13.55 Kapilarne podciąganie opoki (C1 – próbki niezabezpieczone preparatem).



Rys. 13.56 Kapilarne podciąganie opoki (C2 – próbki niezabezpieczone preparatem).

Tab. 13.77 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki C1.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1
347,34	350,48	3,140	0,001525	7,746	265,818
347,34	352,46	5,120	0,001525	13,416	250,244
347,34	354,11	6,770	0,001525	17,321	256,306
347,34	356,31	8,970	0,001525	24,495	240,130
347,34	358,39	11,050	0,001525	30,000	241,530
347,34	361,50	14,160	0,001525	42,426	218,855
347,34	365,57	18,230	0,001525	60,000	199,235
347,34	386,62	39,280	0,001525	169,706	151,777
347,34	403,85	56,510	0,001525	293,939	126,066

Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
2059,016	7,746
3357,377	13,416
4439,344	17,321
5881,967	24,495
7245,902	30,000
9285,246	42,426
11954,098	60,000
25757,377	169,706
37055,738	293,939

Tab. 13.78 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki C2.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1
333,49	337,11	3,620	0,001525	7,746	306,452
333,49	339,42	5,930	0,001525	13,416	289,834
333,49	340,97	7,480	0,001525	17,321	283,186
333,49	342,96	9,470	0,001525	24,495	253,515
333,49	344,52	11,030	0,001525	30,000	241,093
333,49	346,81	13,320	0,001525	42,426	205,872
333,49	349,98	16,490	0,001525	60,000	180,219
333,49	368,47	34,980	0,001525	169,706	135,162
333,49	383,28	49,790	0,001525	293,939	111,075

Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
2373,770	7,746
3888,525	13,416
4904,918	17,321
6209,836	24,495
7232,787	30,000
8734,426	42,426
10813,115	60,000
22937,705	169,706
32649,180	293,939



Rys. 13.57 Kapilarne podciąganie opoki (C3 – próbki niezabezpieczone preparatem)



Rys. 13.58 Kapilarne podciąganie opoki (C4 – próbki niezabezpieczone preparatem)

Tab. 13.79 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki C3.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
349,19	352,95	3,760	0,001587	7,746	305,869	2369,250	7,746
349,19	355,44	6,250	0,001587	13,416	293,540	3938,248	13,416
349,19	356,95	7,760	0,001587	17,321	282,309	4889,729	17,321
349,19	358,74	9,550	0,001587	24,495	245,669	6017,643	24,495
349,19	360,18	10,990	0,001587	30,000	230,834	6925,016	30,000
349,19	362,51	13,320	0,001587	42,426	197,829	8393,195	42,426
349,19	365,73	16,540	0,001587	60,000	173,703	10422,180	60,000
349,19	385,40	36,210	0,001587	169,706	134,448	22816,635	169,706
349,19	400,06	50,870	0,001587	293,939	109,051	32054,190	293,939

Tab. 13.80 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki C4.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
333,03	336,14	3,110	0,001559	7,746	257,536	1994,869	7,746
333,03	338,25	5,220	0,001525	13,416	255,132	3422,951	13,416
333,03	339,35	6,320	0,001525	17,321	239,269	4144,262	17,321
333,03	340,97	7,940	0,001525	24,495	212,557	5206,557	24,495
333,03	342,36	9,330	0,001525	30,000	203,934	6118,033	30,000
333,03	344,45	11,420	0,001525	42,426	176,506	7488,525	42,426
333,03	347,31	14,280	0,001525	60,000	156,066	9363,934	60,000
333,03	366,57	33,540	0,001525	169,706	129,598	21993,443	169,706
333,03	382,09	49,060	0,001525	293,939	109,446	32170,492	293,939



Rys. 13.59 Kapilarne podciąganie opoki (C5 – próbki niezabezpieczone preparatem).



Rys. 13.60 Kapilarne podciąganie opoki (C6 – próbki niezabezpieczone preparatem).

Tab. 13.81 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki C5.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
379,30	382,45	3,150	0,001520	7,746	267,542	2072,368	7,746
379,30	384,35	5,050	0,001525	13,416	246,823	3311,475	13,416
379,30	385,93	6,630	0,001525	17,321	251,005	4347,541	17,321
379,30	387,63	8,330	0,001525	24,495	222,997	5462,295	24,495
379,30	389,01	9,710	0,001525	30,000	212,240	6367,213	30,000
379,30	391,55	12,250	0,001525	42,426	189,335	8032,787	42,426
379,30	395,18	15,880	0,001525	60,000	173,552	10413,115	60,000
379,30	413,24	33,940	0,001525	169,706	131,143	22255,738	169,706
379,30	429,92	50,620	0,001525	293,939	112,926	33193,443	293,939

Tab. 13.82 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki C6.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
353,39	356,57	3,180	0,001289	7,746	318,492	2467,029	7,746
353,39	358,48	5,090	0,001289	13,416	294,326	3948,798	13,416
353,39	359,94	6,550	0,001289	17,321	293,378	5081,458	17,321
353,39	361,37	7,980	0,001289	24,495	252,740	6190,846	24,495
353,39	362,53	9,140	0,001289	30,000	236,359	7090,768	30,000
353,39	364,80	11,410	0,001289	42,426	208,639	8851,823	42,426
353,39	367,91	14,520	0,001289	60,000	187,742	11264,546	60,000
353,39	384,14	30,750	0,001289	169,706	140,571	23855,702	169,706
353,39	397,91	44,520	0,001289	293,939	117,502	34538,402	293,939



Rys. 13.61 Kapilarne podciąganie opoki (C7 – próbki niezabezpieczone preparatem).



Rys. 13.62 Kapilarne podciąganie opoki (C8 – próbki niezabezpieczone preparatem).

Tab. 13.83 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki C7.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
381,21	385,01	3,800	0,001638	7,746	299,498	2319,902	7,746
381,21	387,34	6,130	0,001638	13,416	278,940	3742,369	13,416
381,21	389,13	7,920	0,001638	17,321	279,158	4835,165	17,321
381,21	391,13	9,920	0,001638	24,495	247,242	6056,166	24,495
381,21	392,93	11,720	0,001638	30,000	238,502	7155,067	30,000
381,21	396,13	14,920	0,001638	42,426	214,693	9108,669	42,426
381,21	399,85	18,640	0,001638	60,000	189,662	11379,731	60,000
381,21	417,64	36,430	0,001638	169,706	131,054	22240,537	169,706
381,21	431,90	50,690	0,001638	293,939	105,281	30946,276	293,939

Tab. 13.84 Obliczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej próbki C8.

m_d [g]	m_i [g]	$m_i - m_d$ [g]	A [m ²]	$\sqrt{t_i}$ [s]	C1	Y g/m ²	X $\sqrt{t}$ [s]
315,55	318,96	3,410	0,001525	7,746	288,675	2236,066	7,746
315,55	320,75	5,200	0,001525	13,416	254,154	3409,836	13,416
315,55	322,19	6,640	0,001525	17,321	251,384	4354,098	17,321
315,55	323,70	8,150	0,001525	24,495	218,179	5344,262	24,495
315,55	325,14	9,590	0,001525	30,000	209,617	6288,525	30,000
315,55	327,65	12,100	0,001525	42,426	187,016	7934,426	42,426
315,55	330,99	15,440	0,001525	60,000	168,743	10124,590	60,000
315,55	348,59	33,040	0,001525	169,706	127,666	21665,574	169,706
315,55	360,34	44,790	0,001525	293,939	99,920	29370,492	293,939

Tab. 13.85 Wyniki badania kapilarnego podciągania opoki, próbki strefy A.

Nr próbki	czas [m]										C [g/m ² *s ^{0,5}]
	0	1	3	5	10	15	30	60	480	1440	
	masa próbki [g]										
	m _d	m _i									
A1	337,78	340,08	341,05	341,56	342,33	342,84	343,76	344,62	346,31	347,92	22,577
A2	309,93	310,52	310,57	310,66	310,71	310,79	310,93	311,05	311,90	312,69	7,268
A3	360,85	363,55	365,25	366,33	367,88	369,16	372,15	374,63	378,44	379,86	38,75
A4	354,75	357,65	359,53	360,70	362,32	363,95	366,07	368,11	372,36	373,51	39,494
A5	365,88	366,65	366,75	366,83	366,87	366,90	367,07	367,24	368,24	369,21	6,858
A6	356,78	358,38	359,01	359,30	359,78	360,07	360,47	360,69	361,66	363,25	13,521
A7	380,88	382,82	383,56	383,86	384,35	384,69	385,28	385,67	387,47	389,28	18,366
A8	401,59	402,82	403,15	403,25	403,47	403,51	403,79	404,00	405,17	406,78	10,637
A9	378,14	380,64	382,02	382,81	383,98	385,00	386,28	387,06	391,60	394,91	36,178
A10	339,95	340,99	341,26	341,38	341,54	341,60	341,79	341,98	343,17	344,50	9,675
A11	304,21	304,97	305,23	305,41	305,67	305,81	306,07	306,58	308,43	309,51	12,716
A12	339,21	339,88	339,95	340,10	340,21	340,24	340,36	340,65	341,50	342,87	7,569
A13	338,16	340,82	341,85	342,52	343,26	343,63	344,18	344,98	346,74	347,71	20,602
A14	391,33	393,92	394,99	395,81	396,71	397,06	397,50	397,96	399,35	401,29	21,487
A15	324,39	325,49	325,77	325,90	326,16	326,24	326,40	326,76	327,66	329,09	11,879
A16	352,74	354,29	354,63	355,03	355,38	355,62	355,91	356,28	358,47	359,84	15,173
										Δ C	18,297

Uwagi : Preparat zabezpieczający zatrzymał podciąganie kapilarne na poziomie zwierciadła wody, po 24 godzinach badania zanotowano nieznaczny wzrost masy. Średni przyrost masy wyniósł około 8 gram.

Tab. 13.86 Wyniki badania kapilarnego podciągania opoki, próbki strefy B.

Nr próbki	czas [m]										C [g/m ² *s ^{0,5}]	
	0	1	3	5	10	15	30	60	480	1440		
	masa próbki [g]											
	m _d	m _i										
B1	338,07	340,31	341,57	342,32	343,22	344,01	345,65	348,10	357,00	366,92	62,916	
B2	350,06	352,47	354,14	355,12	356,35	357,33	359,14	361,96	374,63	387,78	88,868	
B3	356,44	359,22	361,32	362,50	363,98	365,06	367,22	370,59	385,45	399,72	89,781	
B4	379,43	382,31	384,40	385,64	387,38	388,64	391,20	394,55	408,25	420,25	79,310	
B5	345,60	348,86	350,69	351,74	353,33	354,59	357,01	360,23	375,91	387,20	94,730	
B6	379,35	382,21	383,48	384,34	385,61	386,67	388,44	390,83	402,53	414,81	57,611	
B7	356,74	359,99	361,58	362,75	364,36	365,56	368,05	371,39	386,78	402,05	98,813	
B8	349,52	352,95	354,73	355,96	357,64	358,93	361,27	363,56	371,60	379,66	76,350	
B9	295,16	297,86	299,18	300,10	301,47	302,68	304,91	307,85	319,08	330,04	84,700	
B10	309,47	311,90	312,95	313,67	314,65	315,45	316,62	318,22	325,66	332,72	50,704	
B11	349,03	353,03	354,94	356,20	357,97	359,56	362,54	366,43	384,18	399,54	111,007	
B12	392,45	395,97	397,75	398,84	400,63	402,06	404,34	407,57	422,92	440,48	85,865	
B13	369,82	374,36	376,75	378,14	380,30	381,99	384,67	388,37	405,15	420,80	99,849	
B14	351,13	354,97	357,02	358,35	360,42	362,10	364,57	368,13	384,66	397,71	104,600	
B15	362,38	366,75	369,14	370,56	372,63	374,28	377,17	381,14	399,41	410,55	97,546	
B16	360,58	364,92	367,38	368,68	370,79	372,21	374,63	378,04	394,66	408,64	106,448	
											Δ C	86,819

Uwagi : próbka zabezpieczona do połowy, w niezabezpieczonej części podciąganie kapilarne osiągnęło około 1/3 wysokości próbki. Średni przyrost masy wyniósł około 40 gram.

Tab. 13.87 Wyniki badania kapilarnego podciągania opoki, próbki strefy C.

Nr próbki	czas [m]										C [g/m ² *s ^{0,5}]
	0	1	3	5	10	15	30	60	480	1440	
	masa próbki [g]										
	m _d	m _i									
C1	347,34	350,48	352,46	354,11	356,31	358,39	361,50	365,57	386,62	403,85	126,066
C2	333,49	337,11	339,42	340,97	342,96	344,52	346,81	349,98	368,47	383,28	111,075
C3	349,19	352,95	355,44	356,95	358,74	360,18	362,51	365,73	385,40	400,06	109,051
C4	333,03	336,14	338,25	339,35	340,97	342,36	344,45	347,31	366,57	382,09	109,446
C5	379,30	382,45	384,35	385,93	387,63	389,01	391,55	395,18	413,24	429,92	112,926
C6	353,39	356,57	358,48	359,94	361,37	362,53	364,80	367,91	384,14	397,91	117,502
C7	381,21	385,01	387,34	389,13	391,13	392,93	396,13	399,85	417,64	431,90	105,281
C8	315,55	318,96	320,75	322,19	323,70	325,14	327,65	330,99	348,59	360,34	99,920
										Δ C	111,408

Uwagi : próbki niezabezpieczone preparatem podciąganie kapilarne sięga do około 1/2 wysokości próbki. Średni przyrost masy wyniósł około 50 gram.

13.5.2. Oznaczenie odporności na zamarzanie

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą: PN-EN 12371 : Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczenie mrozoodporności.[180]

Próbki prostopadłościennne o wymiarach 50x50x300mm suszy się do stałej masy w temp. $70 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Przed badaniem mrozoodporności należy zanotować masy próbek przed zanurzeniem w wodzie, masę próbki nasyconej po zanurzeniu w wodzie jak i masę próbki w wodzie.

Badanie przeprowadzamy aż próbki zaklasyfikuje się jako uszkodzone lub jeśli osiągną maksymalną liczbę cykli 240. Każdy cykl składa się z sześciu godzin zamrażania w powietrzu w temperaturze od -8 do -12°C po czym następuje sześciogodzinne rozmrażanie w wodzie w temperaturze od $+5$ do $+20^{\circ}\text{C}$. Po każdym 14 cyklach należy przeprowadzić ocenę wizualną i pomiar ich masy w powietrzu i masy w wodzie. [180]

Przy ocenie wizualnej stosujemy następującą skalę :

- 0 – próbka do badań nie naruszona
- 1 – bardzo małe zniszczenia, nie powodują dezintegracji próbki
- 2 – jedno lub kilka małych pęknięć, oddzielenie małych fragmentów $\leq 10\text{mm}^2$
- 3 – jedno lub kilka pęknięć, oddzielenie fragmentów $\geq 10\text{mm}^2$
- 4 – próbka do badania przełamana na dwie części lub ze znacznymi pęknięciami
- 5 – próbka do badań w kawałkach

Osiągnięcie punktu 3 skali powodują zaklasyfikowanie próbki jako zniszczonej. [180]

Do pomiaru objętości stosujemy następujący wzór :

$$\Delta V_b = \frac{((M_{so} - M_{h0}) - (M_{sn} - M_{hn})) \times 100}{(M_{so} - M_{h0})} \quad (13.22)$$

Gdzie:

M_{c0} – masa wysuszonej próbki do badania przed zanurzeniu w wodzie, przed zamrożeniem w [g]

M_{so} – masa próbki do badania w wodzie przed zamrożeniem w [g]

M_{h0} – masa próbki do badania w wodzie przed zamrożeniem w [g]

M_{sn} – masa nasyconej próbki po n cyklach w [g]

M_{hn} – masa próbki do badania w wodzie po n cyklach w [g]

ΔV_b – zmiana objętości próbki po n cyklach w [%]

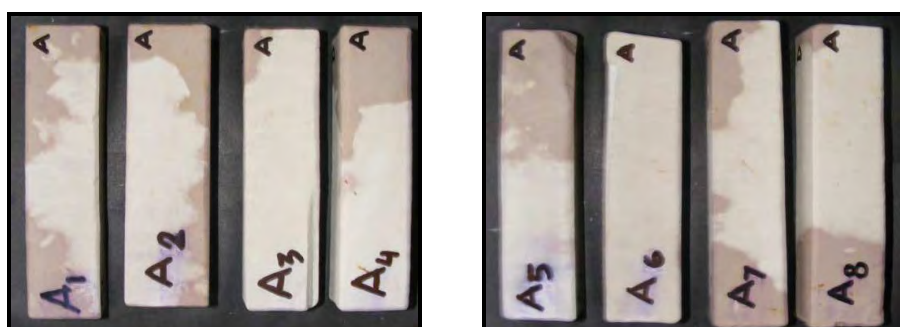
Próbkę klasyfikujemy jako zniszczoną gdy ubytek objętości osiąga 1 %.[180]

Po 14 cyklu

Tab. 13.88 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy A po 14 cyklach.

Nr próbki	M_{so} [g]	M_{ho} [g]	$V_{bo}=(M_{so}-M_{ho})$ [ml]	M_{sn} [g]	M_{hn} [g]	$V_{bn}=(M_{sn}-M_{hn})$ [ml]	ΔVb [%]
A1	388,12	135,37	252,75	387,18	135,03	252,15	0,24
A2	443,24	155,8	287,44	441,99	155,62	286,37	0,37
A3	389,46	130,08	259,38	388,13	130,93	257,20	0,84
A4	382,69	132,93	249,76	381,92	132,98	248,94	0,33
A5	382,84	127,75	255,09	381,94	127,65	254,29	0,31
A6	376,71	134,56	242,15	376,61	135,13	241,48	0,28
A7	406,31	140,7	265,61	406,09	141,17	264,92	0,26
A8	437,01	155,83	281,18	435,48	155,01	280,47	0,25

Uwagi : próbki nie uległy zniszczeniu, zmiana objętości nie osiągnęła ubytku 1% jej pierwotnej wartości.

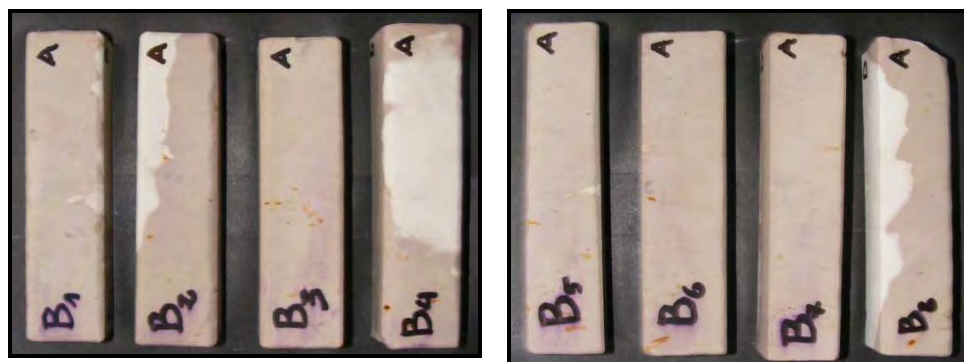


Rys. 13.63 Próbki A. Fotografia wykonana po 14 cyklu rozmrażania.

Tab. 13.89 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy B po 14 cyklach.

Nr próbki	M_{so} [g]	M_{ho} [g]	$V_{bo}=(M_{so}-M_{ho})$ [ml]	M_{sn} [g]	M_{hn} [g]	$V_{bn}=(M_{sn}-M_{hn})$ [ml]	ΔVb [%]
B1	417,07	173,83	243,24	404,64	168,65	235,99	2,98
B2	437,83	185,14	252,69	434,43	183,67	250,76	0,76
B3	446,5	195,28	251,22	444,56	194,40	250,16	0,42
B4	478,18	203,28	274,90	475,36	202,03	273,33	0,57
B5	442,03	191,85	250,18	438,26	190,20	248,06	0,85
B6	470,6	199,41	271,19	464,08	197,28	266,80	1,62
B7	454,24	194,99	259,25	451,17	193,64	257,53	0,66
B8	409,26	174,91	234,35	407,65	173,69	233,96	0,17

Uwagi : próbki B1 i B6 zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości.

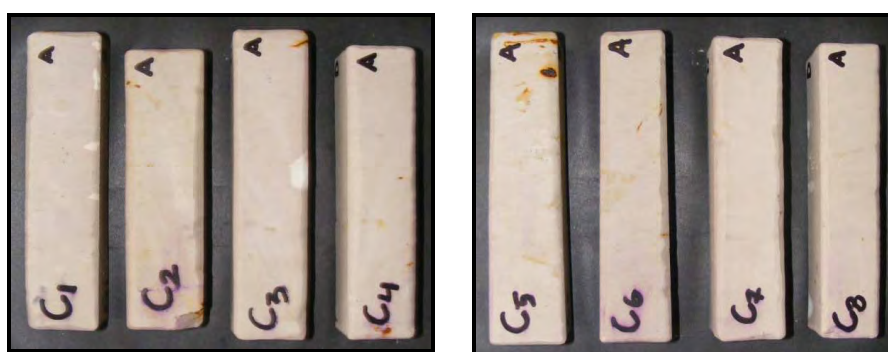


Rys. 13.64 Próbki B. Fotografia wykonana po 14 cyklu rozmrażania.

Tab. 13.90 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy C po 14 cyklach.

Nr próbki	M_{so} [g]	M_{ho} [g]	$V_{bo}=(M_{so}-M_{ho})$ [ml]	M_{sn} [g]	M_{hn} [g]	$V_{bn}=(M_{sn}-M_{hn})$ [ml]	ΔVb [%]
C1	449,17	194,63	254,54	437,99	189,19	248,80	2,26
C2	424,38	182,51	241,87	419,96	180,41	239,55	0,96
C3	453,51	196,39	257,12	451,14	195,34	255,80	0,51
C4	428,95	187,96	240,99	425,44	186,76	238,68	0,96
C5	488,65	212,94	275,71	485,64	211,13	274,51	0,44
C6	455,30	198,65	256,65	453,41	197,82	255,59	0,41
C7	490,28	213,51	276,77	487,43	212,26	275,17	0,58
C8	406,49	176,62	229,87	399,89	173,71	226,18	1,61

Uwagi : próbki C1 i C8 zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości.



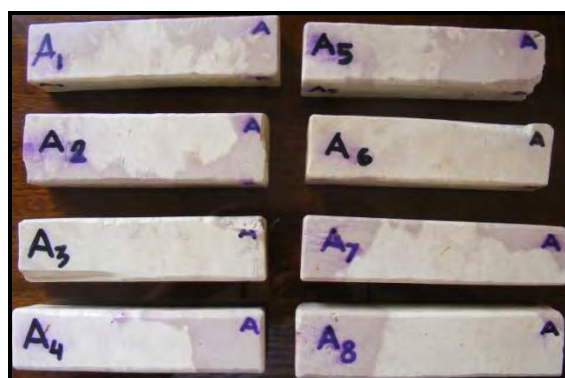
Rys. 13.65 Próbki C. Fotografia wykonana po 14 cyklu rozmrażania.

Po 28 cyklu

Tab. 13.91 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy A po 28 cyklach. .

Nr próbki	M _{so} [g]	M _{ho} [g]	V _{bo} =(M _{so} -M _{ho}) [ml]	M _{sn} [g]	M _{hn} [g]	V _{bn} =(M _{sn} -M _{hn}) [ml]	ΔVb [%]
A1	388,12	135,37	252,75	386,08	134,63	251,45	0,51
A2	443,24	155,8	287,44	441,24	155,52	285,72	0,60
A3	389,46	130,08	259,38	385,23	130,13	255,10	1,65
A4	382,69	132,93	249,76	381,42	132,78	248,64	0,45
A5	382,84	127,75	255,09	381,64	127,53	254,11	0,38
A6	376,71	134,56	242,15	374,91	134,43	240,48	0,69
A7	406,31	140,7	265,61	405,99	141,27	264,72	0,34
A8	437,01	155,83	281,18	434,51	154,91	279,60	0,56

Uwagi : próbka A3 została zakwalifikowana jako uszkodzona, pomiar objętości wyniósł 1,65 %.



Rys. 13.66 Próbki A. Fotografia wykonana po 28 cyklu rozmrażania.

Tab. 13.92 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy B po 28 cyklach.

Nr próbki	M _{so} [g]	M _{ho} [g]	V _{bo} =(M _{so} -M _{ho}) [ml]	M _{sn} [g]	M _{hn} [g]	V _{bn} =(M _{sn} -M _{hn}) [ml]	ΔVb [%]
B1	417,07	173,83	243,24	384,64	157,70	226,94	6,70
B2	437,83	185,14	252,69	431,34	182,45	248,89	1,50
B3	446,5	195,28	251,22	441,64	193,13	248,51	1,08
B4	478,18	203,28	274,90	475,36	202,03	273,33	0,57
B5	442,03	191,85	250,18	438,26	190,20	248,06	0,85
B6	470,6	199,41	271,19	461,98	195,74	266,24	1,83
B7	454,24	194,99	259,25	442,77	190,03	252,74	2,51
B8	409,26	174,91	234,35	403,65	171,99	231,66	1,15

Uwagi : Po 28 cyklu próbki B2, B3, B7, B8 zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości.



Rys. 13.67 Próbki B. Fotografia wykonana po 28 cyklu rozmrażania.

Tab. 13.93 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy C po 28 cyklach.

Nr próbki	M_{so} [g]	M_{ho} [g]	$V_{bo}=(M_{so}-M_{ho})$ [ml]	M_{sn} [g]	M_{hn} [g]	$V_{bn}=(M_{sn}-M_{hn})$ [ml]	ΔVb [%]
C1	449,17	194,63	254,54	437,61	189,49	248,12	2,52
C2	424,38	182,51	241,87	412,27	177,27	235,00	2,84
C3	453,51	196,39	257,12	450,35	195,01	255,34	0,69
C4	428,95	187,96	240,99	424,45	185,95	238,50	1,03
C5	488,65	212,94	275,71	483,85	210,85	273,00	0,98
C6	455,30	198,65	256,65	449,23	195,99	253,24	1,33
C7	490,28	213,51	276,77	484,56	211,02	273,54	1,17
C8	406,49	176,62	229,87	398,76	173,26	225,50	1,90

Uwagi : Po 28 cyklu próbki C2, C4, C6, C7 zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości.



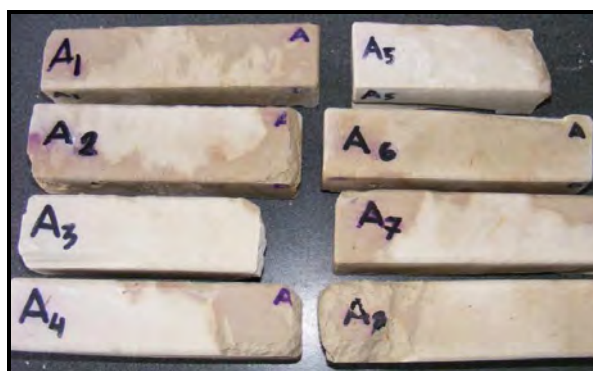
Rys. 13.68 Próbki C. Fotografia wykonana po 28 cyklu rozmrażania.

Po 42 cyklu

Tab. 13.94 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy A po 42 cyklach. .

Nr próbki	M _{so} [g]	M _{ho} [g]	V _{bo} =(M _{so} - M _{ho}) [ml]	M _{sn} [g]	M _{hn} [g]	V _{bn} =(M _{sn} -M _{hn}) [ml]	ΔVb [%]
A1	388,12	135,37	252,75	384,08	133,83	250,25	0,99
A2	443,24	155,8	287,44	436,24	153,20	283,04	1,53
A3*	389,46	130,08	259,38	379,03	128,05	250,98	3,24
A4	382,69	132,93	249,76	380,45	132,46	247,99	0,71
A5*	382,84	127,75	205,09	310,94	109,13	201,81	1,45
A6	376,71	134,56	242,15	374,62	134,23	240,39	0,73
A7	406,31	140,7	265,61	405,76	141,17	264,59	0,38
A8	437,01	155,83	281,18	424,01	152,61	271,40	3,48

Uwagi : Po 42 cyklu próbki A2, A8 zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości. Próbka A5 i A3 uszkodzona mechanicznie. Badanie prowadzono dla mniejszych fragmentów



Rys. 13.69 Próbki A. Fotografia wykonana po 42 cyklu rozmrażania.

Tab. 13.95 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy B po 42 cyklach.

Nr próbki	M _{so} [g]	M _{ho} [g]	V _{bo} =(M _{so} - M _{ho}) [ml]	M _{sn} [g]	M _{hn} [g]	V _{bn} =(M _{sn} -M _{hn}) [ml]	ΔVb [%]
B1	417,07	173,83	243,24	375,18	153,96	221,22	9,05
B2	437,83	185,14	252,69	423,15	178,72	244,43	3,27
B3	446,5	195,28	251,22	401,89	173,52	228,37	9,10
B4	478,18	203,28	274,90	468,34	197,18	271,16	1,36
B5	442,03	191,85	250,18	413,28	180,09	233,19	6,79
B6	470,6	199,41	271,19	457,45	189,65	267,80	1,25
B7	454,24	194,99	259,25	430,97	183,89	247,08	4,69
B8	409,26	174,91	234,35	398,56	169,50	229,06	2,26

Uwagi : Wszystkie próbki zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości.



Rys. 13.70 Próbki B. Fotografia wykonana po 42 cyklu rozmrażania.

Tab. 13.96 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy C po 42 cyklach.

Nr próbki	M_{so} [g]	M_{ho} [g]	$V_{bo}=(M_{so}-M_{ho})$ [ml]	M_{sn} [g]	M_{hn} [g]	$V_{bn}=(M_{sn}-M_{hn})$ [ml]	ΔVb [%]
C1	449,17	194,63	254,54	429,36	184,98	244,38	3,99
C2	424,38	182,51	241,87	404,52	173,78	230,74	4,60
C3	453,51	196,39	257,12	447,23	193,66	253,57	1,38
C4	428,95	187,96	240,99	420,54	184,27	236,27	1,96
C5	488,65	212,94	275,71	472,95	204,42	268,53	2,60
C6	455,30	198,65	256,65	441,47	191,87	249,60	2,75
C7	490,28	213,51	276,77	479,19	208,75	270,44	2,29
C8	406,49	176,62	229,87	393,22	170,84	222,38	3,26

Uwagi : Wszystkie próbki zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości.

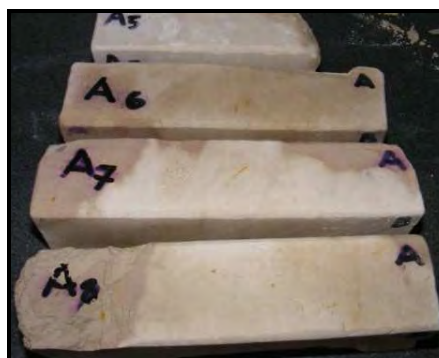


Rys. 13.71 Próbki C. Fotografia wykonana po 42 cyklu rozmrażania.

Po 56 cyklu

Tab. 13.97 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy A po 56 cyklach. .

Nr próbki	M _{so} [g]	M _{ho} [g]	V _{bo} =(M _{so} -M _{ho}) [ml]	M _{sn} [g]	M _{hn} [g]	V _{bn} =(M _{sn} -M _{hn}) [ml]	ΔVb [%]
A1	388,12	135,37	252,75	380,08	132,74	247,34	2,14
A2	443,24	155,8	287,44	416,14	146,22	269,92	6,10
A3	389,46	130,08	259,38	379,03	128,05	248,28	4,4
A4	382,69	132,93	249,76	379,45	132,07	247,38	0,95
A5	382,84	127,75	205,09	310,94	109,13	200,98	2,00
A6	376,71	134,56	242,15	372,62	133,60	239,02	1,29
A7	406,31	140,7	265,61	405,36	140,86	264,50	0,42
A8	437,01	155,83	281,18	424,01	152,61	271,40	3,48

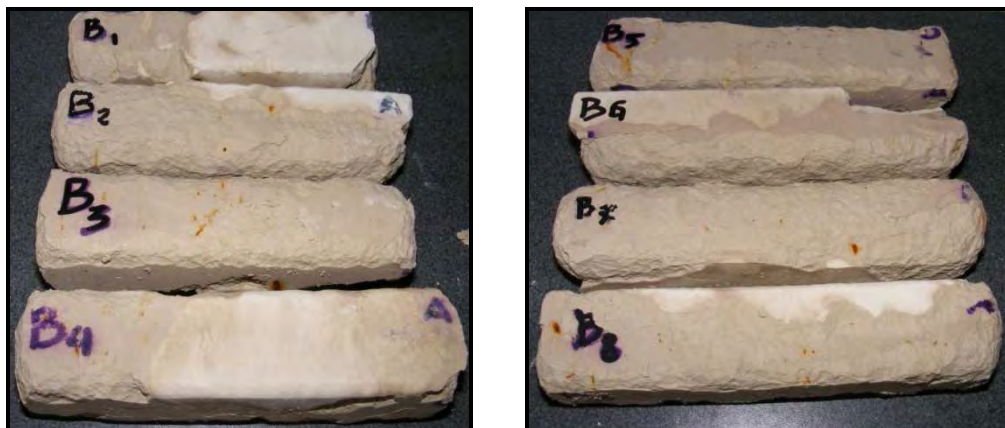


Rys. 13.72 Próbki A. Fotografia wykonana po 56 cyklu rozmrażania.

Tab. 13.98 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy B po 56 cyklach.

Nr próbki	M _{so} [g]	M _{ho} [g]	V _{bo} =(M _{so} -M _{ho}) [ml]	M _{sn} [g]	M _{hn} [g]	V _{bn} =(M _{sn} -M _{hn}) [ml]	ΔVb [%]
B1	417,07	173,83	243,24	345,23	142,46	202,77	16,64
B2	437,83	185,14	252,69	400,25	169,01	231,24	8,49
B3	446,5	195,28	251,22	382,90	165,22	217,68	13,35
B4	478,18	203,28	274,90	452,19	190,32	261,87	4,74
B5	442,03	191,85	250,18	393,45	171,45	222,00	11,26
B6	470,6	199,41	271,19	440,33	182,40	257,93	4,89
B7	454,24	194,99	259,25	420,57	179,42	241,15	6,98
B8	409,26	174,91	234,35	395,11	168,41	226,70	3,26

Uwagi : Wszystkie próbki zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości.

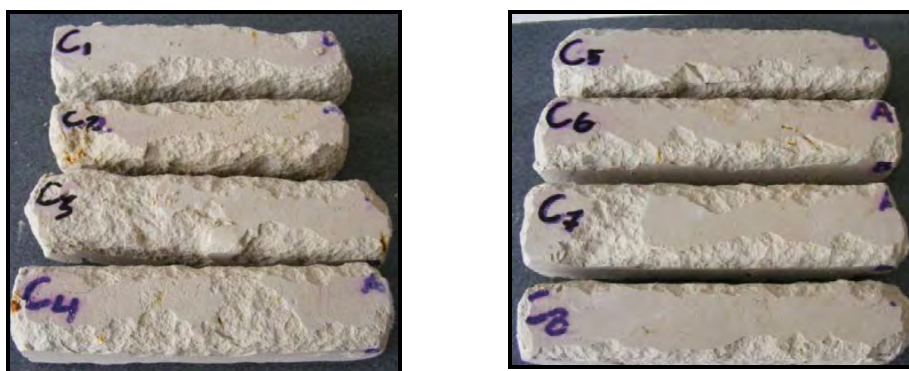


Rys. 13.73 Próbki B. Fotografia wykonana po 56 cyklu rozmrażania.

Tab. 13.99 Wyniki pomiarów objętości próbek strefy C po 56 cyklach.

Nr próbki	M_{so} [g]	M_{ho} [g]	$V_{bo}=(M_{so}-M_{ho})$ [ml]	M_{sn} [g]	M_{hn} [g]	$V_{bn}=(M_{sn}-M_{hn})$ [ml]	ΔVb [%]
C1	449,17	194,63	254,54	411,47	177,23	234,24	7,98
C2	424,38	182,51	241,87	364,21	156,58	207,63	14,16
C3	453,51	196,39	257,12	421,87	182,68	239,19	6,97
C4	428,95	187,96	240,99	411,96	180,51	231,45	3,96
C5	488,65	212,94	275,71	462,21	199,74	262,47	4,80
C6	455,30	198,65	256,65	432,37	187,22	245,15	4,48
C7	490,28	213,51	276,77	464,14	202,20	261,94	5,36
C8	406,49	176,62	229,87	388,89	168,96	219,93	4,32

Uwagi : Wszystkie próbki zostały zakwalifikowane jako uszkodzone, osiągnęły powyżej 1 % spadku objętości.



Rys. 13.74 Próbki C. Fotografia wykonana po 56 cyklu rozmrażania.

13.5.3. Badanie zasolenia

Wyznaczanie zawartości chlorków metodą miareczkowania.

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z instrukcją Aquamerck® 111106.[213]

Opis badania :

- Zwilżyć naczynko badaną próbką a następnie napęlnić do kreski oznaczającej 5 ml.
- Dodaj 2 krople odczynnika 1 i wymieszać. Roztwór zabarwia się na niebiesko.
- Dodać po kropli odczynnika 2 (kwas azotowy) do zmiany zabarwienia z niebieskiego na żółte.
- Napęlnić pipetę do miareczkowania odczynnikiem 3. Dolna krawędź czarnej uszczelki tłoka powinna znajdować się na wysokości kreski oznaczającej 0 mg/l.
- Strząsnąć nadmiar titranta z końcówki pipety dodawać po kropli do próbki ciągle mieszając naczynkiem do chwili gdy próbka zmieni kolor z żółtego na fioletowy.
- Odczytać wynik ze skali na pipecie.
- Na zakończenie opróżnij pipetę i nakręć ją na butelkę z odczynnikiem[213].

Wyznaczanie zawartości siarczanów metodą kolorymetryczną.

Badanie zostało wykonane testem do oznaczania siarczanów Aquaquant® 14411. [215]

Opis badania:

- Otworzyć pudełko i ustawić tak, aby próbówki znajdowały się po lewej stronie.
- Obie próbówki napęlnić wodnym roztworem próbki, dodając odczynnik jedynie do próbówki wewnętrznej (znajdującej się bliżej osoby wykonującej test).
- Przesunąć blok maksymalnie w lewo wewnątrz pudełka, tak aby próbówki wisiały za pudełkiem. Postępowanie takie daje pewność, że karta jest oświetlona w wystarczającym stopniu. Światło powinno padać z lewej strony.
- Wprowadzić kartę barwną stroną do szczeliny umiejscowionej w dolnej, prawej stronie pudełka i przesunąć ją tak, aby pojawiła się po drugiej stronie (pod naklejką na pudełku). 5. Przesuwać kartę, aż do uzyskania najlepszego dopasowania barwy roztworu próbki z odczynnikami oraz barwy plamki pod roztworem odniesienia. [215]

Wyznaczanie zawartości azotanów metodą kolorymetryczną.

Badanie zostało wykonane testem do oznaczania siarczanów Aquamerck® 111170.[214]

Opis badania:

- Wstawiamy naczynia do testów do komparatora, naczynie na ostrym końcu powinno zawierać ślepą próbę, a na zaokrąglonym końcu badaną próbkę.
- Przesuwamy komparator z wstawioną próbką i ślepą próbą należy umieścić na skali barw w taki sposób, by ostry koniec wskazywał na wartości liczbowe.
- Otworzyć naczynia do testów i patrząc przez naczynia z góry przesuwając komparator aż do najlepszego dopasowania barw.
- Odczytać wartość (w mg/l) wskazywaną przez ostry koniec komparatora. [214]

Ocenę stopnia zasolenia próbek przyjęto na podstawie tabeli zamieszczonej poniżej.

Tab. 13.100 Ocena stopnia zasolenia na podstawie stężenia soli. [50]

[%]	niskie	średnie	wysokie
chlorki	< 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
azotany	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3
siarczany	< 0,5	0,5 – 1,5	> 1,5

Wyznaczanie zawartości chlorków na próbkach nie poddanych roztworom soli.

Oznaczenia próbek zastosowane w badaniu:

- A1,2 – próbki ze strefy A nie poddane wcześniej działaniu soli
- B1,2 – próbki ze strefy B nie poddane wcześniej działaniu soli
- C1,2 - próbki ze strefy C nie poddane wcześniej działaniu soli

Tab. 13.101 Wyniki badania wyznaczania zawartości chlorków metodą miareczkowania na próbkach nie poddanych działaniu soli.

Rodzaj próbki	Zawartość chlorków [mg/l]	Masa próbki [g]	Zawartość chlorków [%]	pH
A1	8	1,948	0,04	5,5
A2	10	1,958	0,05	5,5
B1	8	2,087	0,04	5,5
B2	8	1,997	0,04	5,5
C1	10	1,619	0,06	6,5
C2	10	2,046	0,05	5,5

Tab. 13.102 Wyniki badania wyznaczania zawartości siarczanów metodą kolorymetryczną na próbkach nie poddanych działaniu soli.

Rodzaj próbki	Zawartość siarczanów [mg/l]	Masa próbki [g]	Zawartość siarczanów [%]	pH
A1	30	1,948	0,15	5,5
A2	40	1,958	0,2	5,5
B1	70	2,087	0,34	5,5
B2	20	1,997	0,1	5,5
C1	40	1,619	0,25	6,5
C2	70	2,046	0,34	5,5

Tab. 13.103 Wyniki badania wyznaczania zawartości azotanów metodą miareczkowania na próbkach nie poddanych działaniu soli.

Rodzaj próbki	Zawartość azotanów [mg/l]	masa próbki [g]	Zawartość azotanów [%]	pH
A1	2	1,948	0,01	5,5
A2	2	1,958	0,01	5,5
B1	2	2,087	0,01	5,5
B2	6	1,997	0,03	5,5
C1	4	1,619	0,02	6,5
C2	5	2,046	0,02	5,5

13.6. ZAŁĄCZNIK 6 – CHARAKTERYSTYKA CECH FIZYKO – MECHANICZNYCH ZAPRAW PO HYDROFOBIZACJI

13.6.1. Oznaczanie nasiąkliwości

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-85 B-04500

Zasada badania polega na określeniu masy wody, jaką może wchłonąć próbka zanurzona w wodzie pod działaniem normalnego ciśnienia atmosferycznego. [166] Szczegółowy opis badania zgodnie z punktem 13.4.2.

Tab. 13.104 Wyniki nasiąkliwości zaprawy wapiennej po hydrofobizacji w strefie A

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	487,54	563,12	15,50
2	497,12	575,00	15,67
3	490,01	564,55	15,21
4	547,75	630,90	15,18
5	430,87	495,41	14,98
6	441,79	510,28	15,50
7	454,46	527,79	16,14
8	437,33	498,56	14,00
9	465,50	536,92	15,34
10	423,23	485,77	14,78
11	445,90	513,18	15,09
12	436,33	502,85	15,24
		Δn_m	15,2

Tab. 13.105 Wyniki nasiąkliwości zaprawy wapiennej po hydrofobizacji w strefie B

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	429,21	500,91	16,71
2	549,77	637,79	16,01
3	460,72	537,19	16,60
4	438,56	509,13	16,09
5	450,83	524,17	16,27
6	436,52	510,11	16,86
7	385,09	450,78	17,06
8	420,33	490,02	16,58
9	473,72	551,14	16,34
10	563,24	657,23	16,69
11	526,86	613,19	16,39
12	518,13	602,69	16,32
		Δn_m	16,5

Tab. 13.106 Wyniki nasiąkliwości zaprawy wapiennej po hydrofobizacji w strefie C

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	336,47	391,44	16,34
2	409,67	477,84	16,64
3	245,98	286,10	16,31
4	262,41	305,45	16,40
5	272,54	317,90	16,64
6	273,34	320,01	17,07
7	313,18	365,55	16,72
8	253,18	293,78	16,04
9	217,39	253,88	16,79
10	287,24	333,65	16,16
11	373,07	434,64	16,50
12	254,20	295,78	16,36
		Δn_m	16,5

Tab. 13.107 Wyniki nasiąkliwości zaprawy cementowo-wapiennej po hydrofobizacji w strefie A

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	451,52	549,55	21,71
2	430,31	521,00	21,08
3	446,28	542,30	21,52
4	468,02	570,40	21,88
5	468,41	571,76	22,06
6	452,78	551,30	21,76
7	406,46	497,57	22,42
8	379,15	465,89	22,88
9	554,60	674,96	21,70
10	566,11	688,87	21,68
11	517,86	631,48	21,94
12	475,42	582,78	22,58
		Δn_m	21,93

Tab. 13.108 Wyniki nasiąkliwości zaprawy cementowo-wapiennej po hydrofobizacji w strefie B

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	422,00	515,18	22,08
2	429,18	525,81	22,52
3	476,40	583,59	22,50
4	424,98	518,82	22,08
5	529,79	647,74	22,26
6	417,80	511,13	22,34
7	356,56	436,73	22,48
8	398,07	486,19	22,14
9	534,98	651,90	21,86
10	437,40	534,49	22,20
11	479,68	585,04	21,96
12	534,26	653,05	22,23
		Δn_m	22,22

Tab. 13.109 Wyniki nasiąkliwości zaprawy cementowo-wapiennej po hydrofobizacji w strefie C

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	403,64	490,04	21,41
2	298,22	366,00	22,73
3	418,02	508,72	21,70
4	308,62	374,02	21,19
5	496,11	603,42	21,63
6	436,76	530,83	21,54
7	413,92	502,80	21,47
8	294,08	357,62	21,61
9	494,11	608,88	23,23
10	591,02	728,88	23,33
11	624,86	769,03	23,07
12	624,67	768,49	23,02
		Δn_m	22,16

Tab. 13.110 Wyniki nasiąkliwości zaprawy trasowej po hydrofobizacji w strefie A

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	594,35	732,00	23,16
2	601,56	742,40	23,41
3	622,67	769,70	23,61
4	600,68	743,00	23,69
5	597,96	737,20	23,29
6	612,12	756,05	23,51
		Δn_m	23,4

Tab. 13.111 Wyniki nasiąkliwości zaprawy trasowej po hydrofobizacji w strefie B

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	607,85	758,00	24,70
2	600,43	745,70	24,19
3	585,63	726,60	24,07
4	606,50	750,30	23,71
5	604,14	751,85	24,45
6	593,03	736,15	24,13
		Δn_m	24,2

Tab. 13.112 Wyniki nasiąkliwości zaprawy trasowej po hydrofobizacji w strefie C

Nr próbki	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]
1	629,45	778,20	23,63
2	632,80	780,70	23,37
3	606,14	753,85	24,37
4	595,03	738,15	24,05
5	598,07	740,45	23,81
6	607,32	753,08	24,00
		Δn_m	23,9

Tab. 13.113 Wyniki nasiąkliwości spienionej zaprawy trasowej w proporcji 1:1 po hydrofobizacji

Nr próbki	Strefa	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]	Δn_m [%]
1	A	282,2	370,8	31,4	31,5
2		279,0	366,9	31,5	
3		269,6	355,1	31,7	
4		260,5	342,7	31,5	
5	B	257,8	339,4	31,7	31,3
6		276,3	359,7	30,2	
7		274,3	361,0	31,6	
8		265,1	348,9	31,6	
9	C	209,1	276,4	32,2	31,6
10		220,7	289,3	31,1	
11		269,7	355,0	31,6	
12		265,1	348,9	31,6	

Tab. 13.114 Wyniki nasiąkliwości spienionej zaprawy trasowej w proporcji 1:0,5 po hydrofobizacji

Nr próbki	Strefa	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]	Δn_m [%]
1	A	280,6	360,9	28,6	28,6
2		274,3	353,0	28,7	
3		265,1	340,9	28,6	
4		259,1	333,1	28,5	
5	B	267,0	341,6	27,9	28,3
6		275,3	352,4	28,0	
7		269,7	347,0	28,6	
8		237,1	304,7	28,5	
9	C	214,9	274,9	27,9	28,3
10		245,2	314,1	28,1	
11		267,4	343,9	28,6	
12		265,1	340,9	28,6	

Tab. 13.115 Wyniki nasiąkliwości spienionej zaprawy trasowej w proporcji 1:0,4 po hydrofobizacji

Nr próbki	Strefa	Masa próbki suchej [g]	Masa próbki mokrej [g]	Nasiąkliwość [%]	Δn_m [%]
1	A	277,4	350,9	26,5	26,3
2		269,7	341,0	26,4	
3		262,1	331,0	26,3	
4		263,1	331,3	25,9	
5	B	271,2	341,0	25,7	26,0
6		272,5	343,7	26,1	
7		253,4	319,8	26,2	
8		226,0	284,8	26,0	
9	C	230,0	288,5	25,4	26,0
10		256,3	323,0	26,0	
11		266,2	336,4	26,4	
12		265,1	334,9	26,3	

13.6.2. Oznaczanie kapilarnego podciągania

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-85 B-04500

Zasada oznaczania. Oznaczanie kapilarnego podciągania wody polega na określeniu poziomu zawilgocenia próbek ustawionych w wodzie od poziomu wody w naczyniu oraz na określeniu przyrostu masy próbek. [166] Szczegółowy opis badania zgodnie z punktem 13.4.3.

Tab. 13.116 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej po hydrofobizacji w strefie A

Nr próbki	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]			
	0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h
1	490,9	516,9	519,8	520,0	527,4	5,3	5,9	5,9	7,5
2	499,9	526,2	527,3	528,3	532,4	5,3	5,5	5,7	6,5
3	494,0	519,3	521,6	524,0	529,7	5,1	5,6	6,1	7,2
4	553,1	581,7	583,4	584,1	590,3	5,2	5,5	5,6	6,7
5	431,8	448,2	448,8	449,0	450,4	3,8	3,9	4,0	4,3
6	445,9	460,2	462,1	465,5	470,5	3,2	3,7	4,4	5,5
7	456,3	476,8	478,9	479,5	483,7	4,5	5,0	5,1	6,0
8	437,0	448,7	450,3	451,4	454,7	2,7	3,0	3,3	4,0
9	461,4	476,6	479,4	481,7	486,5	3,3	3,9	4,4	5,4
10	417,2	432,6	433,4	435,3	439,7	3,7	3,9	4,3	5,4
11	446,7	462,8	464,6	465,5	469,2	3,6	4,0	4,2	5,0
12	438,8	454,2	455,5	457,3	460,4	3,5	3,8	4,2	4,9
Δm						4,1	4,5	4,8	5,7

Tab. 13.117 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej po hydrofobizacji w strefie B

Nr próbki	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]			
	0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h
1	431,6	464,8	480,4	485,5	497,2	7,7	11,3	12,5	15,2
2	522,7	558,2	562,9	566,8	583,8	6,8	7,7	8,4	11,7
3	462,3	500,3	513,1	522,6	530,6	8,2	11,0	13,0	14,8
4	498,2	527,1	533,5	534,8	560,6	5,8	7,1	7,3	12,5
5	454,3	486,0	499,4	510,6	516,5	7,0	9,9	12,4	13,7
6	438,5	484,9	501,6	505,5	510,2	10,6	14,4	15,3	16,4
7	386,7	419,0	432,2	443,9	448,3	8,3	11,8	14,8	15,9
8	417,1	444,1	459,9	465,3	479,6	6,5	10,3	11,6	15,0
9	470,2	516,3	527,0	533,7	538,8	9,8	12,1	13,5	14,6
10	558,2	631,2	647,4	648,9	652,2	13,1	16,0	16,2	16,8
11	521,0	587,8	601,6	603,5	607,3	12,8	15,5	15,8	16,6
12	514,7	552,6	573,5	586,2	596,1	7,4	11,4	13,9	15,8
Δm						8,7	11,5	12,9	14,9

Tab. 13.118 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej po hydrofobizacji w strefie C

Nr próbki	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]			
	0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h
1	339,7	367,0	382,1	388,7	389,6	8,0	12,5	14,4	14,7
2	410,6	441,1	457,8	464,8	474,0	7,4	11,5	13,2	15,4
3	247,5	270,1	281,4	284,2	284,3	9,1	13,7	14,8	14,9
4	263,8	284,5	295,3	298,5	303,9	7,8	11,9	13,2	15,2
5	275,8	300,3	316,5	320,4	319,0	8,9	14,8	16,2	15,7
6	275,4	303,1	315,5	318,4	318,6	10,1	14,6	15,6	15,7
7	311,8	338,6	361,3	363,3	362,1	8,6	15,9	16,5	16,1
8	252,0	270,3	283,3	287,6	290,2	7,3	12,4	14,1	15,2
9	216,7	248,7	249,1	253,4	249,5	14,8	15,0	17,0	15,1
10	285,6	310,2	326,4	330,2	330,4	8,6	14,3	15,6	15,7
11	375,2	404,0	420,0	426,8	431,8	7,7	11,9	13,8	15,1
12	255,7	277,3	288,3	291,4	294,1	8,5	12,8	14,0	15,0
Δm						8,9	13,4	14,9	15,3

Tab. 13.119 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy cementowo-wapiennej po hydrofobizacji w strefie A

Nr próbki	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]			
	0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h
1	451,7	484,9	501,4	510,7	533,6	7,3	11,0	13,1	18,1
2	430,8	461,7	481,2	490,6	511,7	7,2	11,7	13,9	18,8
3	447,1	472,3	489,0	497,1	522,9	5,6	9,4	11,2	16,9
4	468,7	497,1	517,2	527,8	558,2	6,1	10,4	12,6	19,1
5	459,4	492,3	513,5	526,4	554,1	7,2	11,8	14,6	20,6
6	453,4	485,9	511,7	523,2	546,6	7,2	12,8	15,4	20,5
7	407,2	437,3	456,7	466,9	492,4	7,4	12,2	14,7	20,9
8	379,6	409,0	427,9	438,0	459,6	7,7	12,7	15,4	21,1
9	554,7	597,5	625,3	640,6	671,2	7,7	12,7	15,5	21,0
10	565,9	608,2	635,2	649,0	684,1	7,5	12,2	14,7	20,9
11	518,2	558,5	584,1	599,0	627,7	7,8	12,7	15,6	21,1
12	475,7	512,9	536,8	550,8	578,5	7,8	12,8	15,8	21,6
					Δm	7,2	11,9	14,4	20,1

Tab. 13.120 Wyniki kapilarnego podciągania i zaprawy cementowo-wapiennej po hydrofobizacji w strefie B

Nr próbki	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]			
	0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h
1	422,4	454,4	475,0	487,1	512,0	7,6	12,4	15,3	21,2
2	428,9	456,8	474,8	484,5	518,3	6,5	10,7	13,0	20,8
3	476,8	512,5	537,1	550,3	580,4	7,5	12,6	15,4	21,7
4	425,6	457,0	477,1	487,7	514,2	7,4	12,1	14,6	20,8
5	530,9	567,5	591,7	606,1	644,6	6,9	11,4	14,2	21,4
6	418,5	452,9	474,0	486,5	508,6	8,2	13,3	16,3	21,5
7	357,5	386,7	403,9	413,9	433,9	8,2	13,0	15,8	21,4
8	398,8	423,6	441,7	452,5	481,3	6,2	10,8	13,5	20,7
9	535,5	578,1	603,4	618,1	649,4	7,9	12,7	15,4	21,3
10	437,9	469,0	488,7	500,8	532,4	7,1	11,6	14,4	21,6
11	480,0	516,5	538,4	551,1	582,7	7,6	12,2	14,8	21,4
12	534,8	578,9	605,4	620,7	650,1	8,2	13,2	16,1	21,6
					Δm	7,4	12,2	14,9	21,3

Tab. 13.121 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy cementowo-wapiennej po hydrofobizacji w strefie C

Nr próbki	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]			
	0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h
1	403,8	437,9	454,2	463,0	486,9	8,4	12,5	14,7	20,6
2	398,7	432,1	449,3	458,4	483,6	8,4	12,7	15,0	21,3
3	418,3	456,7	477,1	486,6	505,9	9,2	14,0	16,3	20,9
4	308,4	334,4	346,1	353,6	369,8	8,4	12,2	14,7	19,9
5	495,9	540,1	558,9	570,6	599,5	8,9	12,7	15,1	20,9
6	437,6	484,4	503,2	513,2	529,0	10,7	15,0	17,3	20,9
7	414,3	447,3	462,4	471,9	498,7	8,0	11,6	13,9	20,4
8	294,7	329,6	339,8	345,4	355,7	11,8	15,3	17,2	20,7
9	493,1	531,3	547,3	558,4	602,8	7,7	11,0	13,2	22,3
10	589,8	637,2	657,9	669,2	725,2	8,0	11,5	13,5	23,0
11	623,8	672,2	694,9	705,0	765,2	7,8	11,4	13,0	22,7
12	623,0	672,7	695,2	710,7	764,8	8,0	11,6	14,1	22,8
Δm						8,8	12,6	14,8	21,4

Tab. 13.122 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy trasowej po hydrofobizacji w strefie A

Nr próbki	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]			
	0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h
1	577,7	592,4	608,5	617,0	645,7	2,5	5,3	6,8	11,8
2	585,8	601,4	618,7	627,7	658,1	2,7	5,6	7,1	12,3
3	607,0	622,2	639,6	645,2	680,2	2,5	5,4	6,3	12,1
4	586,1	602,7	619,5	628,3	658,8	2,8	5,7	7,2	12,4
5	581,8	596,9	613,6	622,3	651,9	2,6	5,5	7,0	12,1
6	596,4	611,8	629,2	636,4	669,2	2,6	5,5	6,7	12,2
Δm						2,6	5,5	6,9	12,1

Tab. 13.123 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy trasowej po hydrofobizacji w strefie B

Nr próbki	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]			
	0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h
1	597,9	623,2	643,4	650,2	682,0	4,2	7,6	8,7	14,1
2	589,2	608,6	625,5	633,1	666,2	3,3	6,2	7,5	13,1
3	574,1	590,6	607,4	608,5	644,6	2,9	5,8	6,0	12,3
4	592,5	611,5	627,8	636,4	668,8	3,2	6,0	7,4	12,9
5	593,6	615,9	634,5	641,7	674,1	3,8	6,9	8,1	13,6
6	581,7	599,6	616,5	620,8	655,4	3,1	6,0	6,7	12,7
Δm						3,4	6,4	7,4	13,1

Tab. 13.124 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy trasowej po hydrofobizacji w strefie C

Nr próbki	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]			
	0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h
1	616,1	651,5	679,4	685,1	715,2	5,7	10,3	11,2	16,1
2	618,4	639,1	652,6	661,5	687,7	3,3	5,5	7,0	11,2
3	595,6	617,9	636,5	643,7	676,1	3,8	6,9	8,1	13,5
4	583,7	601,6	618,5	622,8	657,4	3,1	6,0	6,7	12,6
5	585,3	603,1	619,6	624,4	658,7	3,0	5,9	6,7	12,5
6	595,0	615,7	633,1	641,0	673,5	3,5	6,4	7,7	13,2
Δm						3,7	6,8	7,9	13,2

Tab. 13.125 Wyniki kapilarnego podciągania spienionej zaprawy trasowej w proporcji 1:1 po hydrofobizacji

Nr próbki	Strefa	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]				Δm [%]
		0	1	3	6	24	1	3	6	24	
1	A	280,7	292,2	301,1	307,2	314,9	4,1	7,3	9,4	12,2	12,3
2		277,5	289,5	298,4	302,4	313,2	4,3	7,5	9,0	12,9	
3		268,1	278,7	286,4	292,1	300,0	4,0	6,8	9,0	11,9	
4		259,0	272,0	278,8	284,6	290,4	5,0	7,6	9,9	12,1	
5	B	256,1	267,5	274,0	279,4	288,4	4,5	7,0	9,1	12,6	12,4
6		279,1	290,9	299,8	304,8	314,1	4,2	7,4	9,2	12,5	
7		272,8	284,1	292,4	297,3	306,6	4,1	7,2	9,0	12,4	
8		263,6	275,4	282,6	288,3	295,2	4,5	7,2	9,4	12,0	
9	C	207,6	218,5	224,8	228,8	234,5	5,3	8,3	10,2	13,0	12,4
10		276,0	287,5	296,1	301,0	310,3	4,2	7,3	9,1	12,5	
11		268,2	279,7	287,5	292,8	300,9	4,3	7,2	9,2	12,2	
12		263,6	275,4	282,6	288,3	295,2	4,5	7,2	9,4	12,0	

Tab. 13.126 Wyniki kapilarnego podciągania spienionej zaprawy trasowej w proporcji 1:0,5 po hydrofobizacji

Nr próbki	Strefa	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]				Δm [%]
		0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h	
1	A	279,1	290,9	299,8	304,8	314,1	4,2	7,4	9,2	12,5	12,3
2		272,8	284,1	292,4	297,3	306,6	4,1	7,2	9,0	12,4	
3		263,6	275,4	282,6	288,3	295,2	4,5	7,2	9,4	12,0	
4		257,6	269,8	276,4	282,0	289,4	4,7	7,3	9,5	12,4	
5	B	267,6	279,2	286,9	292,1	301,2	4,3	7,2	9,2	12,6	12,4
6		276,0	287,5	296,1	301,0	310,3	4,2	7,3	9,1	12,5	
7		268,2	279,7	287,5	292,8	300,9	4,3	7,2	9,2	12,2	
8		235,6	246,9	253,7	258,6	264,9	4,8	7,7	9,8	12,4	
9	C	241,8	253,0	260,4	264,9	272,4	4,6	7,7	9,6	12,7	12,4
10		272,1	283,6	291,8	296,9	305,6	4,2	7,3	9,1	12,3	
11		265,9	277,5	285,1	290,6	298,1	4,4	7,2	9,3	12,1	
12		263,6	275,4	282,6	288,3	296,2	4,5	7,2	9,4	12,4	

Tab. 13.127 Wyniki kapilarnego podciągania spienionej zaprawy trasowej w proporcji 1:0,4 po hydrofobizacji

Nr próbki	Strefa	Masa próbki [g]					Kapilarność [%]				Δm [%]
		0	1h	3h	6h	24h	1h	3h	6h	24h	
1	A	276,0	287,5	296,1	303,0	312,3	4,2	7,3	9,8	13,2	12,9
2		268,2	279,7	287,5	294,8	302,2	4,3	7,2	9,9	12,7	
3		260,6	272,6	279,5	287,2	293,6	4,6	7,3	10,2	12,7	
4		262,6	274,5	281,6	289,1	296,6	4,5	7,3	10,1	13,0	
5	B	271,8	283,3	291,5	298,6	307,1	4,2	7,2	9,9	13,0	12,9
6		272,1	283,6	291,8	298,9	306,9	4,2	7,3	9,9	12,8	
7		251,9	263,3	270,6	277,7	284,2	4,5	7,4	10,2	12,8	
8		238,7	250,0	257,1	263,7	269,9	4,7	7,7	10,5	13,1	
9	C	256,9	268,3	276,1	282,9	290,3	4,4	7,5	10,1	13,0	12,8
10		269,0	280,6	288,4	295,7	303,1	4,3	7,2	10,0	12,7	
11		264,7	276,4	283,8	291,5	298,4	4,4	7,2	10,1	12,7	
12		263,6	275,4	282,6	290,3	297,5	4,5	7,2	10,2	12,9	

13.6.3. Oznaczanie kapilarnego podciągania przez pomiar wilgotności masowej

W celu wykonania oznaczania wilgotności po określeniu kapilarnego podciągania, beleczki pocięto na cztery części, co 4cm, i zważono z dokładnością do 1 g. Następnie beleczki wysuszono do uzyskania stałej masy i określono wilgotność zgodnie z [206] jako przyrost masy próbek (m), w %, wg wzoru:

$$m = \frac{m_n - m_s}{m_s} 100\% \quad (13.23)$$

Gdzie:

m_m - masa próbki nasyconej wodą przez kapilarne podciąganie [g],

m_s - masa próbki wysuszonej do stałej masy [g].[206]

Tab. 13.128 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej po hydrofobizacji w strefie A

Nr próbki	Wysokość próbki [cm]	Masa naczynka [g]	Masa próbki mokrej z naczynkiem [g]	Masa próbki suchej z naczynkiem [g]	Masa próbki mokrej [g]	Masa próbki suchej [g]	Wilgotność [%]
1	4	85,12	205,33	187,81	120,21	102,69	17,1
	8	55,94	188,23	173,24	132,29	117,31	12,8
	12	54,68	165,11	160,45	110,43	105,78	4,4
	16	37,29	178,95	178,56	141,66	141,27	0,3
2	4	61,87	177,11	160,22	115,24	98,35	17,2
	8	39,56	194,24	178,39	154,68	138,83	11,4
	12	39,26	161,36	160,15	122,10	120,89	1,0
	16	52,48	170,80	170,39	118,32	117,91	0,3
3	4	37,61	116,13	105,18	78,52	67,57	16,2
	8	33,24	95,50	94,83	62,26	61,60	1,1
	12	34,13	88,46	88,28	54,33	54,15	0,3
	16	38,86	87,55	87,42	48,69	48,56	0,3
4	4	27,74	84,86	77,62	57,12	49,88	14,5
	8	30,01	87,00	85,41	56,98	55,40	2,9
	12	26,15	71,40	71,24	45,25	45,09	0,4
	16	29,41	77,92	77,78	48,51	48,37	0,3
5	4	37,61	105,26	95,41	67,65	57,80	17,0
	8	33,24	100,91	93,58	67,68	60,35	12,1
	12	34,13	110,14	105,55	76,01	71,42	6,4
	16	38,86	105,38	104,60	66,52	65,74	1,2
6	4	27,74	82,42	74,42	54,68	46,68	17,1
	8	30,01	101,36	92,27	71,35	62,26	14,6
	12	26,15	81,83	79,21	55,68	53,06	4,9
	16	29,41	84,35	82,69	54,94	53,28	3,1

Tab. 13.129 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej po hydrofobizacji w strefie B

Nr próbki	Wysokość próbki [cm]	Masa naczynka [g]	Masa próbki mokrej z naczynkiem [g]	Masa próbki suchej z naczynkiem [g]	Masa próbki mokrej [g]	Masa próbki suchej [g]	Wilgotność [%]
1	4	43,31	102,56	94,09	59,25	50,78	16,7
	8	32,95	99,81	91,24	66,87	58,29	14,7
	12	50,35	126,36	119,30	76,01	68,96	10,2
	16	32,67	124,49	117,47	91,82	84,80	8,3
2	4	28,28	116,78	103,87	88,50	75,59	17,1
	8	29,55	116,64	106,65	87,09	77,10	13,0
	12	27,39	91,87	84,83	64,48	57,44	12,3
	16	32,88	110,22	101,87	77,34	68,99	12,1
3	4	33,84	84,23	76,89	50,39	43,05	17,0
	8	29,39	69,97	63,97	40,57	34,58	17,3
	12	38,31	80,12	74,11	41,81	35,80	16,8

	16	1,06	75,38	65,63	74,32	64,57	15,1
4	4	0,65	18,79	16,13	18,13	15,48	17,2
	8	0,64	28,48	24,68	27,84	24,04	15,8
	12	0,78	31,33	27,14	30,55	26,36	15,9
	16	0,76	34,65	30,16	33,89	29,40	15,3
5	4	33,84	94,31	85,37	60,47	51,53	17,3
	8	29,39	93,71	84,89	64,32	55,50	15,9
	12	38,31	99,85	92,16	61,54	53,85	14,3
	16	1,13	90,00	80,12	88,87	78,99	12,5
6	4	28,28	118,71	105,26	90,43	76,98	17,5
	8	29,55	105,26	95,74	75,71	66,19	14,4
	12	27,39	102,05	93,35	74,66	65,96	13,2
	16	32,88	96,22	89,38	63,34	56,50	12,1

Tab. 13.130 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej po hydrofobizacji w strefie C

Nr próbki	Wysokość próbki [cm]	Masa naczynka [g]	Masa próbki mokrej z naczynkiem [g]	Masa próbki suchej z naczynkiem [g]	Masa próbki mokrej [g]	Masa próbki suchej [g]	Wilgotność [%]
1	4	0,65	18,79	16,13	18,13	15,48	17,2
	8	0,64	28,48	24,65	27,84	24,01	16,0
	12	0,78	31,33	27,14	30,55	26,36	15,9
	16	0,76	34,65	30,16	33,89	29,40	15,3
2	4	85,12	120,64	115,47	35,52	30,35	17,0
	8	55,94	116,71	108,26	60,78	52,33	16,2
	12	54,68	104,26	97,64	49,58	42,97	15,4
	16	37,29	101,05	92,55	63,76	55,26	15,4
3	4	61,87	97,22	92,08	35,36	30,21	17,0
	8	39,56	77,10	71,83	37,53	32,27	16,3
	12	39,26	75,04	70,34	35,78	31,08	15,1
	16	52,48	77,75	74,47	25,27	21,99	14,9
4	4	37,61	101,19	91,97	63,58	54,36	17,0
	8	33,24	113,09	101,77	79,85	68,54	16,5
	12	34,13	125,42	112,89	91,30	78,76	15,9
	16	38,86	120,64	109,67	81,78	70,81	15,5
5	4	27,74	64,48	59,07	36,74	31,32	17,3
	8	30,01	94,01	85,13	64,00	55,12	16,1
	12	26,15	96,78	87,23	70,63	61,08	15,6
	16	29,41	94,93	86,14	65,51	56,73	15,5
6	4	37,61	104,36	94,69	66,75	57,08	16,9
	8	33,24	111,99	100,70	78,75	67,47	16,7
	12	34,13	103,65	94,55	69,52	60,42	15,1
	16	38,86	99,13	91,37	60,28	52,51	14,8

Tab. 13.131 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy cementowo-wapiennej po hydrofobizacji w strefie A

Nr próbki	Wysokość próbki [cm]	Masa naczynka [g]	Masa próbki mokrej z naczynkiem [g]	Masa próbki suchej z naczynkiem [g]	Masa próbki mokrej [g]	Masa próbki suchej [g]	Wilgotność [%]
1	4	85,12	236,39	209,14	151,27	124,02	22,0
	8	55,94	225,93	198,81	169,99	142,88	19,0
	12	54,68	156,14	143,08	101,47	88,40	14,8
	16	37,29	145,34	131,92	108,05	94,63	14,2
2	4	61,87	201,11	176,07	139,24	114,21	21,9
	8	39,56	157,12	138,72	117,56	99,16	18,6
	12	39,26	105,20	95,08	65,94	55,82	18,1
	16	52,48	124,37	115,01	71,89	62,52	15,0
3	4	43,31	99,02	89,11	55,71	45,80	21,7
	8	32,95	115,65	101,53	82,70	68,58	20,6
	12	50,35	131,71	118,23	81,37	67,88	19,9
	16	32,67	69,85	65,61	37,18	32,94	12,9
4	4	28,28	86,45	76,22	58,17	47,93	21,4
	8	29,55	93,00	82,69	63,45	53,14	19,4
	12	27,39	61,04	57,40	33,65	30,01	12,1
	16	32,88	87,34	80,78	54,46	47,90	13,7
5	4	85,12	218,30	193,08	133,18	107,96	23,4
	8	55,94	234,77	203,23	178,84	147,30	21,4
	12	54,68	176,46	155,97	121,79	101,30	20,2
	16	37,29	134,32	118,35	97,03	81,06	19,7
6	4	61,87	198,36	172,85	136,49	110,98	23,0
	8	39,56	140,19	123,13	100,63	83,57	20,4
	12	39,26	105,00	94,64	65,74	55,38	18,7
	16	52,48	122,28	111,37	69,80	58,89	18,5

Tab. 13.132 Wyniki kapilarnego podciągania i zaprawy cementowo-wapiennej po hydrofobizacji w strefie B

Nr próbki	Wysokość próbki [cm]	Masa naczynka [g]	Masa próbki mokrej z naczynkiem [g]	Masa próbki suchej z naczynkiem [g]	Masa próbki mokrej [g]	Masa próbki suchej [g]	Wilgotność [%]
1	4	37,61	80,30	72,48	42,69	34,87	22,4
	8	33,24	65,35	59,18	32,12	25,94	23,8
	12	34,13	80,41	72,60	46,29	38,47	20,3
	16	38,86	94,36	84,50	55,51	45,64	21,6
2	4	27,74	74,15	65,63	46,41	37,88	22,5
	8	30,01	75,94	67,87	45,93	37,86	21,3
	12	26,15	74,85	66,40	48,70	40,25	21,0
	16	29,41	66,42	60,18	37,00	30,77	20,3
3	4	33,84	72,15	65,39	38,31	31,55	21,4

	8	29,39	72,85	65,12	43,46	35,72	21,6
	12	38,31	86,53	78,41	48,23	40,10	20,3
	16	28,76	96,21	85,27	67,45	56,51	19,4
4	4	43,31	109,80	97,25	66,49	53,94	23,3
	8	32,95	109,97	96,08	77,02	63,13	22,0
	12	50,35	121,99	109,40	71,65	59,06	21,3
	16	32,67	101,69	89,79	69,02	57,12	20,8
5	4	28,28	99,83	86,34	71,55	58,06	23,2
	8	29,55	114,42	98,73	84,87	69,18	22,7
	12	27,39	114,67	98,74	87,28	71,35	22,3
	16	32,88	87,05	77,24	54,17	44,36	22,1
6	4	27,74	72,83	64,33	45,08	36,59	23,2
	8	30,01	72,88	64,89	42,87	34,88	22,9
	12	26,15	87,39	76,55	61,24	50,40	21,5
	16	29,41	84,26	75,06	54,84	45,65	20,1

Tab. 13.133 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy cementowo-wapiennej po hydrofobizacji w strefie C

Nr próbki	Wysokość próbki [cm]	Masa naczynka [g]	Masa próbki mokrej z naczynkiem [g]	Masa próbki suchej z naczynkiem [g]	Masa próbki mokrej [g]	Masa próbki suchej [g]	Wilgotność [%]
1	4	43,31	72,83	67,23	29,51	23,92	23,4
	8	32,95	72,88	65,49	39,93	32,54	22,7
	12	50,35	87,39	80,55	37,04	30,20	22,6
	16	32,67	84,26	75,06	51,58	42,39	21,7
2	4	28,28	75,05	66,45	46,77	38,17	22,5
	8	29,55	75,40	67,03	45,85	37,48	22,3
	12	27,39	70,63	62,79	43,24	35,40	22,2
	16	32,88	69,28	62,79	36,40	29,90	21,7
3	4	33,84	72,50	65,40	38,66	31,56	22,5
	8	29,39	79,69	70,56	50,30	41,17	22,2
	12	38,31	91,37	81,84	53,06	43,53	21,9
	16	1,12	103,00	84,76	101,89	83,64	21,8
4	4	0,74	109,89	89,67	109,14	88,92	22,7
	8	0,66	115,98	94,74	115,33	94,09	22,6
	12	0,73	111,84	91,60	111,11	90,87	22,3
	16	0,74	100,76	83,07	100,02	82,32	21,5
5	4	33,84	107,13	93,54	73,29	59,70	22,8
	8	29,39	114,55	98,74	85,15	69,34	22,8
	12	38,31	100,86	89,49	62,55	51,18	22,2
	16	1,03	79,94	65,78	78,91	64,76	21,9
6	4	28,28	72,85	64,71	44,57	36,43	22,4
	8	29,55	80,13	70,92	50,58	41,37	22,3
	12	27,39	85,82	75,31	58,43	47,92	21,9
	16	32,88	84,26	75,06	51,38	42,18	21,8

13.7. ZAŁĄCZNIK 7 - HYDROFOBIZACJA MURÓW

13.7.1. Badanie szybkości podciągania kapilarnego na murach z opoki wapnistej

Pomiary wilgotności murów, których celem było określenie szybkości i wysokości podciągania kapilarnego w murach wykonano za pomocą miernika LB-795.[218] Urządzenie zostało wcześniej skalibrowany co umożliwiło pomiary metodą opornościową opoki i zaprawy wapiennej w murach.

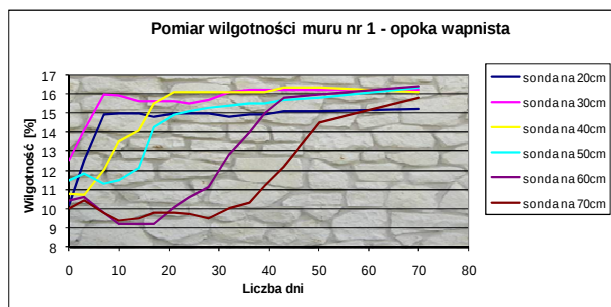
W murach zamontowano zaizolowane wcześniej sondy opornościowe o długości 15cm. Zostały one rozmieszczone w parach co 10cm w kamieniu oraz w każdej poziomej spoinie z zaprawy wapiennej. Pomiar wilgotności przeprowadzano cyklicznie co 24 godziny przez okres 70 dni. Wyniki badań oraz wyznaczone na ich podstawie wykresy zamieszczono poniżej.

Tab. 13.134 Wyniki kapilarnego podciągania opoki w murze nr 1

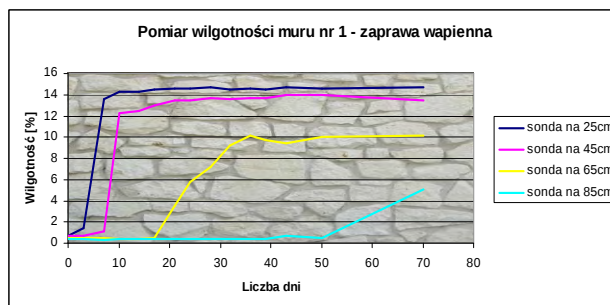
Nr sondy	Wysokość pomiaru [cm]	Liczba dni													
		0	3	7	10	14	17	21	24	28	32	36	39	50	70
		Wilgotność [%]													
1	20	10,2	12,5	14,9	15,0	15,0	14,8	15,0	15,0	14,8	14,9	14,9	15,1	15,1	15,2
2	30	12,5	14,1	16,0	15,9	15,6	15,6	15,5	15,7	16,1	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
3	40	10,8	10,7	12,0	13,5	14,1	15,5	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,3	16,3	16,1
4	50	11,5	11,8	11,3	11,5	12,1	14,3	15,1	15,3	15,4	15,5	15,5	15,7	15,8	16,3
5	60	10,4	10,6	9,8	9,2	9,2	9,2	10,6	11,1	12,8	14,0	15,0	15,8	16,0	16,4
6	70	10,0	10,4	9,8	9,4	9,5	9,8	9,7	9,5	10,0	10,3	11,2	12,2	14,5	15,8

Tab. 13.135 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej w murze nr 1

Nr sondy	Wysokość pomiaru [cm]	Liczba dni													
		0	3	7	10	14	17	21	24	28	32	36	39	50	70
		Wilgotność [%]													
1	20	10,2	12,5	14,9	15,0	15,0	14,8	15,0	15,0	14,8	14,9	14,9	15,1	15,1	15,2
2	30	12,5	14,1	16,0	15,9	15,6	15,6	15,5	15,7	16,1	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
3	40	10,8	10,7	12,0	13,5	14,1	15,5	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,3	16,3	16,1
4	50	11,5	11,8	11,3	11,5	12,1	14,3	15,1	15,3	15,4	15,5	15,5	15,7	15,8	16,3
5	60	10,4	10,6	9,8	9,2	9,2	9,2	10,6	11,1	12,8	14,0	15,0	15,8	16,0	16,4
6	70	10,0	10,4	9,8	9,4	9,5	9,8	9,7	9,5	10,0	10,3	11,2	12,2	14,5	15,8



Rys. 13.75 Kapilarne podciąganie opoki wapienistej w murze nr 1



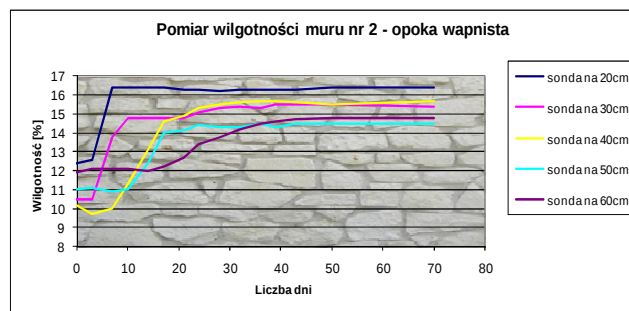
Rys. 13.76 Kapilarne podciąganie zaprawy wapiennej w murze nr 1

Tab. 13.136 Wyniki kapilarnego podciągania opoki w murze nr 2

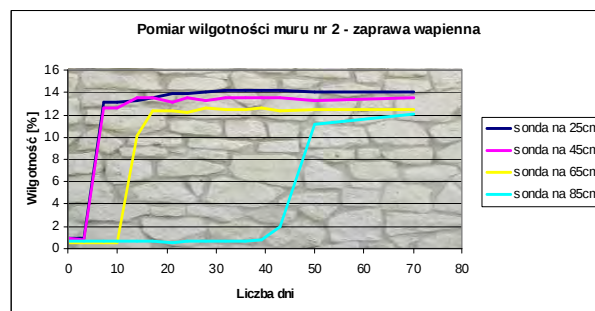
Nr sondy	Wysokość pomiaru [cm]	Liczba dni													
		0	3	7	10	14	17	21	24	28	32	36	39	50	70
		Wilgotność [%]													
1	20	12,4	12,6	16,4	16,4	16,4	16,4	16,3	16,3	16,2	16,3	16,3	16,3	16,4	16,4
2	30	10,5	10,5	13,8	14,8	14,8	14,8	14,8	15,1	15,3	15,4	15,3	15,5	15,5	15,4
3	40	10,2	9,7	10,0	11,3	13,1	14,6	14,9	15,3	15,5	15,6	15,7	15,7	15,5	15,7
4	50	11,0	11,1	10,9	11,0	12,4	14,0	14,1	14,4	14,3	14,3	14,5	14,3	14,5	14,5
5	60	11,9	12,1	12,1	12,1	12,0	12,2	12,7	13,4	13,8	14,2	14,5	14,6	14,8	14,8

Tab. 13.137 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej w murze nr 2

Nr sondy	Wysokość pomiaru [cm]	Liczba dni													
		0	3	7	10	14	17	21	24	28	32	36	39	50	70
		Wilgotność [%]													
1	25	0,9	0,9	13,1	13,2	13,3	13,5	13,8	13,8	14,0	14,1	14,1	14,1	14,0	14,0
2	45	0,9	0,8	12,6	12,6	13,5	13,5	13,2	13,5	13,3	13,4	13,4	13,4	13,3	13,4
3	65	0,6	0,6	0,6	0,6	10,1	12,3	12,3	12,2	12,6	12,5	12,5	12,6	12,5	12,5
4	85	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	11,2	12,1



Rys. 13.77 Kapilarne podciąganie opoki wapnistej w murze nr 2



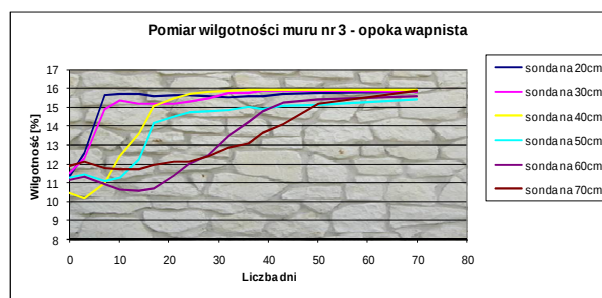
Rys. 13.78 Kapilarne podciąganie zaprawy wapiennej w murze nr 2

Tab. 13.138 Wyniki kapilarnego podciągania opoki w murze nr 3

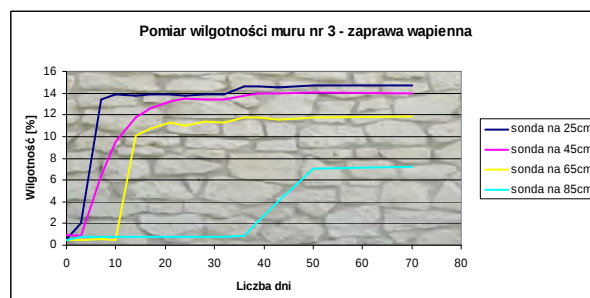
Nr sondy	Wysokość pomiaru [cm]	Liczba dni													
		0	3	7	10	14	17	21	24	28	32	36	39	50	70
		Wilgotność [%]													
1	20	11,3	12,6	15,7	15,7	15,7	15,6	15,7	15,7	15,6	15,6	15,6	15,6	15,8	15,8
2	30	11,5	12,3	14,9	15,4	15,2	15,2	15,2	15,3	15,5	15,8	15,8	15,9	15,9	15,8
3	40	10,5	10,2	11,0	12,4	13,6	15,1	15,5	15,7	15,8	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9
4	50	11,3	11,5	11,1	11,3	12,3	14,2	14,5	14,8	14,8	14,9	15,0	14,9	15,2	15,4
5	60	11,2	11,4	11,0	10,7	10,6	10,7	11,4	12,0	12,5	13,5	14,3	14,8	15,4	15,6
6	70	11,9	12,1	11,8	11,7	11,8	12,0	12,1	12,1	12,4	12,9	13,1	13,7	15,2	15,9

Tab. 13.139 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej w murze nr 3

Nr sondy	Wysokość pomiaru [cm]	Liczba dni													
		0	3	7	10	14	17	21	24	28	32	36	39	50	70
		Wilgotność [%]													
1	25	0,6	2,0	13,4	13,9	13,8	13,9	13,9	13,8	13,9	13,9	14,6	14,6	14,7	14,7
2	45	0,9	0,8	6,4	9,5	11,7	12,6	13,2	13,5	13,4	13,4	13,8	14,0	14,1	14,0
3	65	0,5	0,5	0,6	0,5	10,1	10,7	11,3	11,0	11,4	11,3	11,7	11,7	11,7	11,8
4	85	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	2,2	7,0	7,2



Rys. 13.79 Kapilarne podciąganie opoki wapienistej w murze nr 3



Rys. 13.80 Kapilarne podciąganie zaprawy wapiennej w murze nr 3

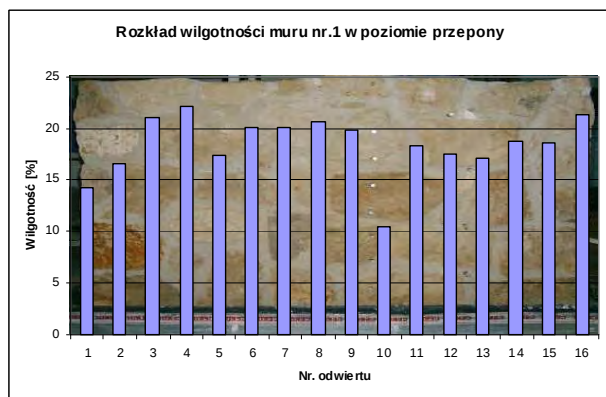
13.7.2. Badanie wilgotności przed wykonaniem przepony

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

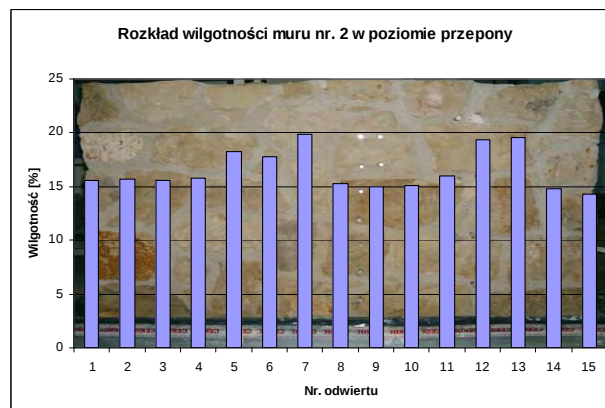
Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN ISO 12570 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie wilgotności przez suszenie w podwyższonej temperaturze.[206]

Tab. 13.140 Wyniki kapilarnego podciągania zaprawy wapiennej w murze nr 3

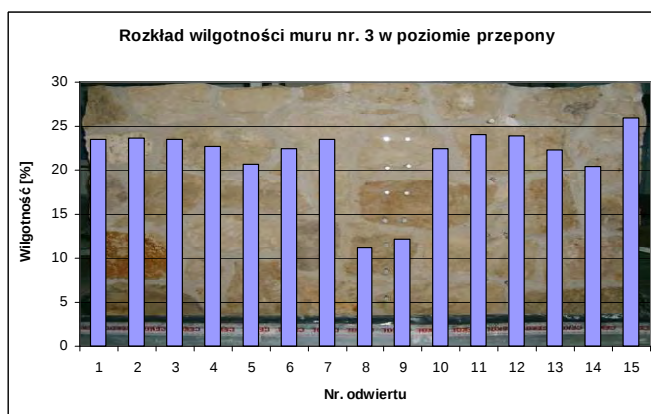
Nr Otworu	Wilgotność masowa [%]		
	Mur 1	Mur 2	Mur 3
1	14,3	15,6	23,5
2	16,5	15,7	23,6
3	21,1	15,6	23,6
4	22,2	15,8	22,6
5	17,3	18,2	20,7
6	20,1	17,7	22,4
7	20,1	19,9	23,6
8	20,7	15,3	11,2
9	19,8	15,0	12,1
10	10,4	15,1	22,5
11	18,3	16,0	24,0
12	17,6	19,4	23,9
13	17,1	19,5	22,3
14	18,6	14,7	20,3
15	18,6	14,3	26,0
16	21,4	-	-



Rys. 13.81 Rozkład wilgotności muru nr 1 w poziomie otworów wykonywanej przepony.



Rys. 13.82 Rozkład wilgotności muru nr 2 w poziomie otworów wykonywanej przepony.



Rys. 13.83 Rozkład wilgotności muru nr 3 w poziomie otworów wykonywanej przepony.

13.7.3. Badanie skuteczności przepony chemicznej w murze z opoki

Miejsce przeprowadzenia badania: Laboratorium Politechniki Lubelskiej

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą nr: PN-EN ISO 12570 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie wilgotności przez suszenie w podwyższonej temperaturze.[206]

Tab. 13.141 Badania wilgotności muru nr 1 strona a wyniki dla zaprawy wapiennej

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Wilgotność [%]							
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

Tab. 13.142 Badania wilgotności muru nr 1 strona a wyniki dla opoki

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Wilgotność [%]							
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

Tab. 13.143 Badania wilgotności muru nr 1 strona b wyniki dla zaprawy wapiennej

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Wilgotność [%]							
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

Tab. 13.144 Badania wilgotności muru nr 1 strona b wyniki dla opoki

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Wilgotność [%]							
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

Tab. 13.145 Badania wilgotności muru nr 2 wyniki dla zaprawy wapiennej

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Wilgotność [%]							
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

Tab. 13.146 Badania wilgotności muru nr 2 wyniki dla opoki

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Wilgotność [%]							
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

Tab. 13.147 Badania wilgotności muru nr 3 wyniki dla zaprawy wapiennej

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Wilgotność [%]							
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

Tab. 13.148 Badania wilgotności muru nr 3 wyniki dla opoki

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Wilgotność [%]							
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

14. ZAŁĄCZNIK – ANALIZA STATYSTYCZNA

Otrzymane wyniki badań poddano analizie statystycznej w trzech grupach: opoka z parametrami iniekcji, opoka i zaprawa. Celem prowadzenia obliczeń było otrzymanie zależności regresyjnych pomiędzy pomierzonymi właściwościami. W analizie zastosowano metodę regresji wielorakiej. Obliczenia wykonano w programie STATISTICA.

14.1. ANALIZA ZALEŻNOŚCI STATYSTYCZNYCH POMIĘDZY WILGOTNOŚCIĄ I POROWATOŚCIĄ OPOKI, CIŚNIENIEM INIEKCJI, A PROMIENIEM PENETRACJI

Celem prowadzenia analizy statystycznej było ustalenie zależności regresyjnych pomiędzy uzyskanym promieniem penetracji (zmienna zależna) oraz ciśnieniem iniekcji, porowatością i wilgotnością opoki (zmienne niezależne). Obliczenia regresyjne wymagają spełnienia warunków:

- zmienne powinny mieć rozkład normalny,
- zmienne powinny wykazywać się wariancjami nie różniącymi się między sobą statystycznie,
- zmienne nie mogą być skorelowane liniowo między sobą,
- składnik losowy w równaniu regresji musi mieć średnią równą 0, a opóźnienia muszą wykazywać się jednakową wariancją.

Sprawdzenia wyżej wymienionych warunków realizowane były w następujący sposób:

- rozkład normalny - test Shapiro-Wilka,
- równość wariancji - test Levene'a,
- korelacje – obliczenie współczynnika korelacji ($r < 0,8$ – brak korelacji),
- analiza składnika resztowego – korelogram autokorelacji cząstkowej reszt.

14.1.1. Dane i arkusz kalkulacyjny

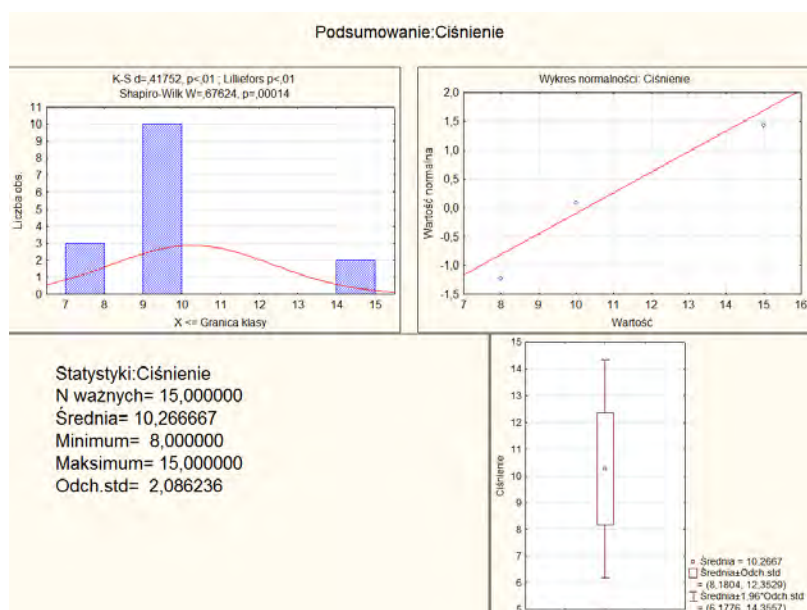
Celem dokonania obliczeń statystycznych skonstruowano arkusz kalkulacyjny w programie STATISTICA. Arkusz przedstawiono na poniższym rysunku.

	1 Ciśnienie	2 Wilgotność	3 Promień penetracji	4 Porowatość
1	10	9,65	5,6	41,32
2	10	12,24	5,5	40,42
3	15	16,13	5,9	47,35
4	10	19,55	6,1	43,44
5	10	18,12	5,8	43,22
6	10	19,59	8,1	44,6
7	15	23,34	9,4	42,65
8	8	6,2	4,7	45,64
9	8	5,6	4,6	41,32
10	10	13,5	4,8	40,42
11	10	18,34	6,2	47,35
12	10	23,2	7,8	43,44
13	10	19,5	8,2	43,22
14	8	11,12	5,7	41,56
15	10	24,8	9,9	42,65

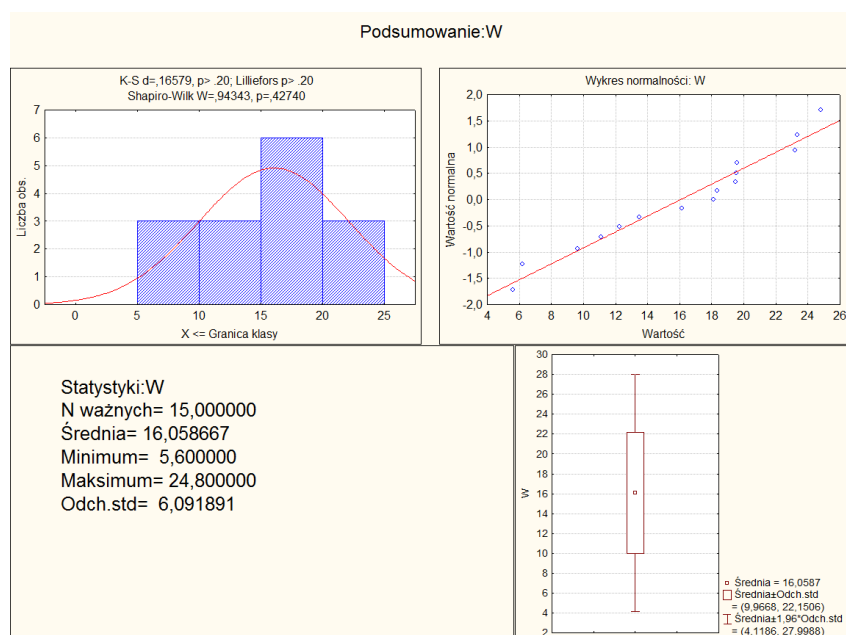
Rys. 14.1 Arkusz do obliczeń statystycznych.

14.1.2. Sprawdzenie warunku normalności rozkładów

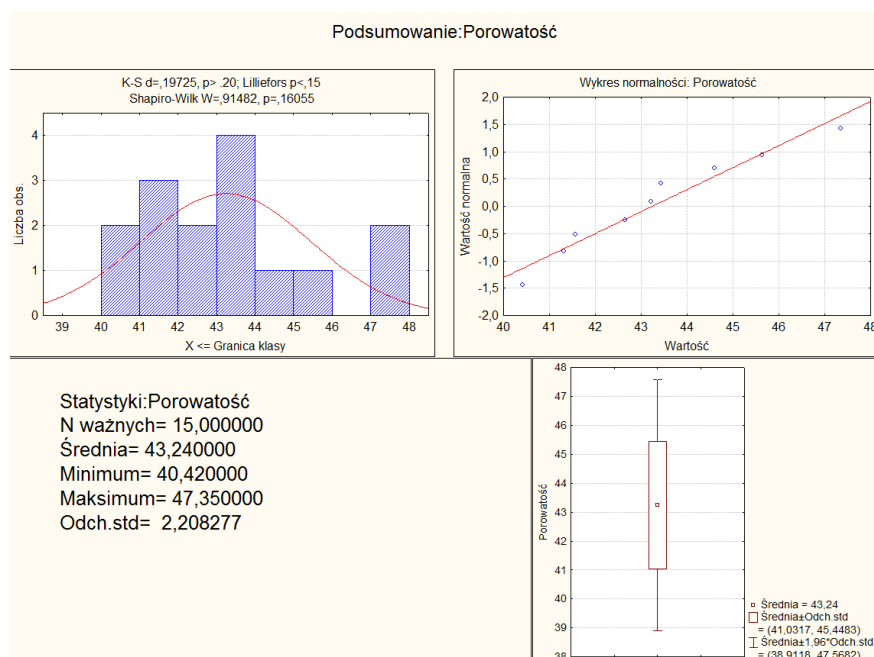
Analizie normalności rozkładów poddano zmienne: ciśnienie, wilgotność, porowatość i promień penetracji. Podsumowanie statystyk z wykresami normalności oraz współczynnikiem W z testu Shapiro-Wilka przedstawiono na rysunkach zamieszczonych poniżej. Rozkład uznajemy za normalny jeśli wartość duże W jest większa od 0,881.



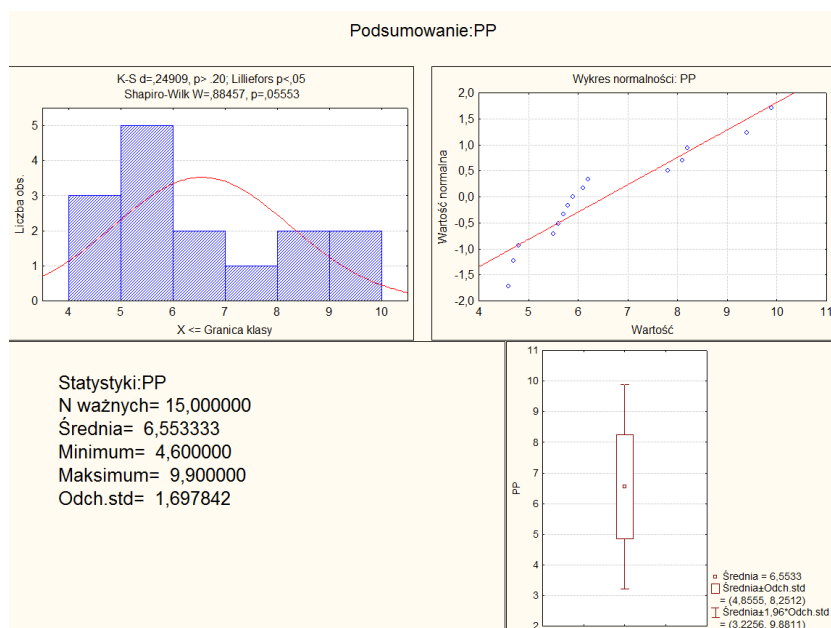
Rys. 14.2 Podsumowanie statystyki Ciśnienie z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,67624



Rys. 14.3 Podsumowanie statystyki wilgotności z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,94343



Rys. 14.4 Podsumowanie statystyki porowatości z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,91482



Rys. 14.5 Podsumowanie statystyki promienia penetracji z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,88457

Wnioski

Zmienna ciśnienie nie posiada rozkładu normalnego ($W=0,67624 < W_{kr}=0,881$ dla 15 próbek i $\alpha=0,05$), pozostałe zmienne posiadają rozkład normalny $W > W_{kr}=0,881$. Zmienna ciśnienie nie mogła być użyta w równaniu regresji.

14.1.1. Sprawdzenie warunku jednorodności wariancji

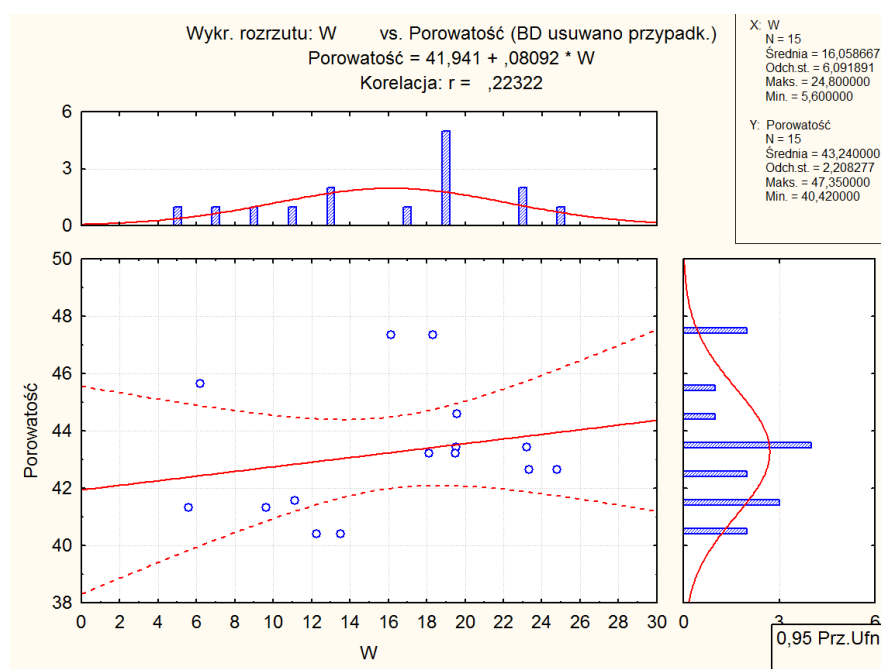
Zmienna ciśnienie jako, że nie posiada rozkładu normalnego i nie będzie użyta w równaniu regresji nie podlega sprawdzeniu jednorodności wariancji. Sprawdzono zmienne porowatość, wilgotność i promień penetracji. Z wyżej wymienionych zmiennych utworzono nową zmienną obliczeniową i obliczono statystykę F. W wyniku przeprowadzonych obliczeń (Tab. poniżej) stwierdzono jednorodność wariancji nowej zmiennej.

Tab. 14.1 Zestawienie wyników testu Levene'a jednorodności wariancji

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (Arkus23) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.						
	Średnia Grupa 1	Średnia Grupa 2	t	df	p	N ważnych Grupa 1	N ważnych Grupa 2
test Levene'a vs. NowaZm1	21,95067	8,000000	5,587355	88	0,000000	45	45
Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (Arkus23) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.						
	Odch.std Grupa 1	Odch.std Grupa 2	iloraz F Wariancje	p Wariancje	Levene'a F(1,df)	df Levene'a	
test Levene'a vs. NowaZm1	16,16929	4,369314	13,69479	0,000000	97,04390	88	
Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (Arkus23) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.						
	p Levene'a						
test Levene'a vs. NowaZm1	0,000000						

14.1.1. Sprawdzenie braku korelacji pomiędzy zmiennymi niezależnymi

Obliczeniom poddano zmienne wilgotność i porowatość. Analizowano korelacje pomiędzy zmiennymi. Wyniki obliczeń zestawiono na rysunku poniżej.



Rys. 14.6 Wykres rozrzutu pomiędzy porowatością i wilgotnością. Współczynnik korelacji $r=0,22322$ – nie występuje korelacja liniowa pomiędzy nimi

Wniosek

W równaniu regresji wielorakiej promień penetracji może być wyznaczany ze zmiennych niezależnych wilgotność i porowatość.

14.1.1. Wyznaczenie zależności regresyjnej pomiędzy promieniem penetracji i wilgotnością

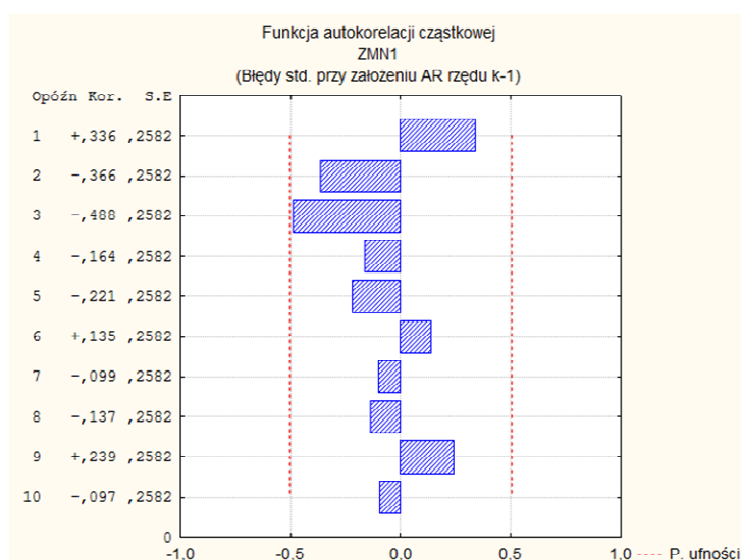
Jako zmienną zależną przyjęto promień penetracji, jako zmienną niezależną wilgotność. Obliczenia przeprowadzono metodą regresji wielorakiej. Wyniki obliczeń i równanie regresji zestawiono w tabeli poniżej.

Tab. 14.2 Podsumowanie regresji zmiennej zależnej promień penetracji

N=15	Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: PP (Arkusz23) R= ,85328420 R ² = ,72809392 Skoryg. R ² = ,70717807 F(1,13)=34,811 p<,00005 Błąd std. estymacji: ,91875					
	b*	Bł. std. z b*	b	Bł. std. z b	t(13)	p
W. wolny			2,734346	0,689381	3,966381	0,001611
W	0,853284	0,144623	0,237815	0,040307	5,900053	0,000052
Równanie regresji	PP= 2,734346+0,237815*W					

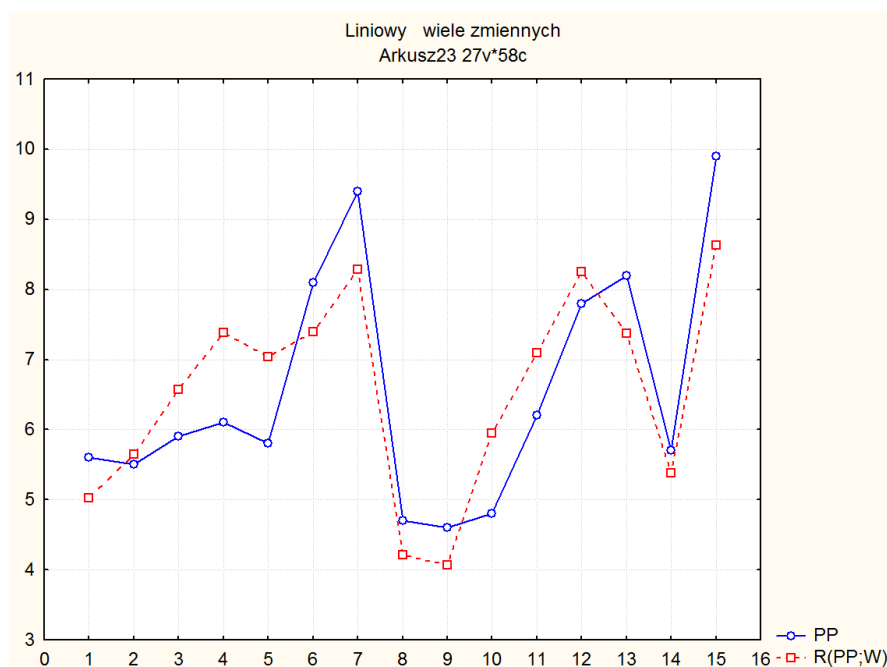
14.1.1. Sprawdzenie warunku autokorelacji cząstkowej reszt

Składnik losowy w równaniu regresji musi mieć średnią równą 0, a opóźnienia muszą wykazywać się jednakową wariancją. Warunek ten sprawdzono wykonując korelogram autokorelacji cząstkowej reszt. Stwierdzono spełnienie warunków.



Rys. 14.7 Korelogram autokorelacji cząstkowej reszt równania regresji PP= 2,734346+0,237815*W.

Na rysunku poniżej przedstawiono wykresy liniowe pomierzonych wartości promienia penetracji oraz wartości obliczonych z równania regresji $PP = 2,734346 + 0,237815 \cdot W$. Celem sprawdzenia dobroci dopasowania obliczono błąd MAPE.



Rys. 14.8 Wykresy liniowe pomierzonych wartości promienia penetracji oraz wartości obliczonych z równania regresji

$$MAPE = \frac{1}{T - n} \sum_{i=T-n}^T \frac{|Y_i - Y_{ip}|}{Y_i} \quad (14.1)$$

Gdzie:

MAPE – średni absolutny procentowy błąd (mean absolute percentage error)

T – suma ilości okresów obliczeniowych i prognozowanych

n – ilość okresów prognozowanych

Y_i – wartość rzeczywista zmiennej w okresie i

Y_{ip} – wartość prognozowana zmiennej w okresie i.

W badaniach materiałowych przyjmuje się ocenę dobroci dopasowania predykcji w następujący sposób:

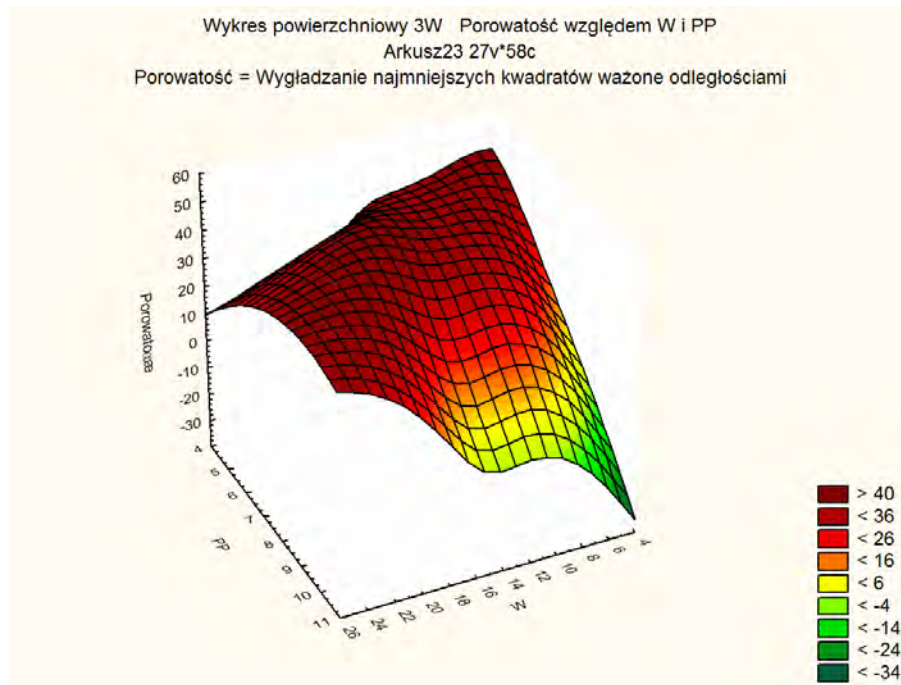
- MAPE <5% - dopasowanie bardzo dobre,
- MAPE 5% - 10% - dopasowanie dobre,
- MAPE 10%-15% - dopasowanie dostateczne,
- MAPE >15% - dopasowanie niedostateczne.

Celem obliczenia MAPE skonstruowano arkusz kalkulacyjny w programie Microsoft Excel. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano MAPE = 12,13035 % - dopasowanie dostateczne.

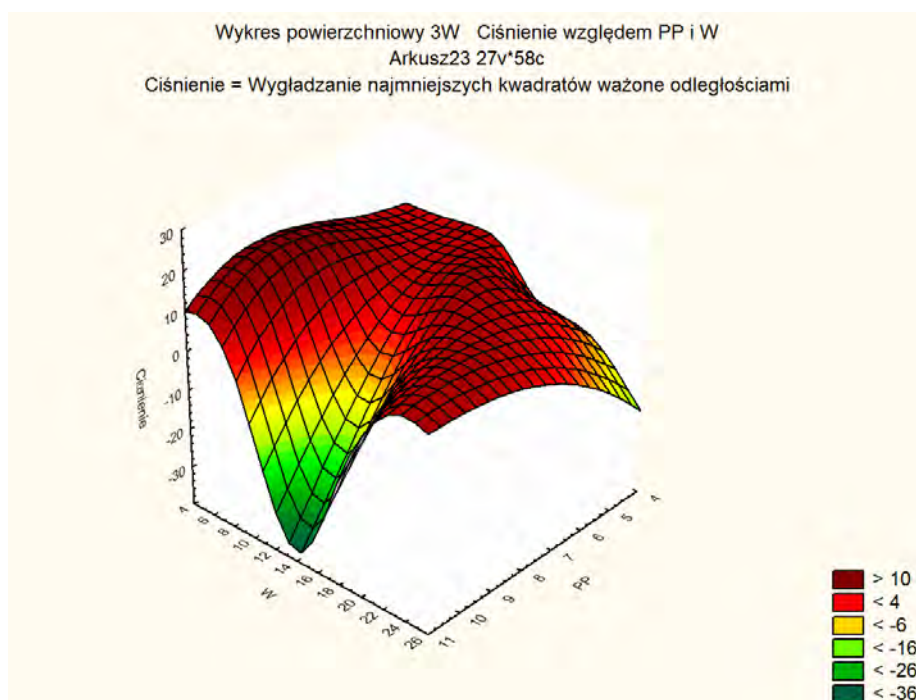
Wniosek

Proponowany model regresji może być przyjęty do użytku.

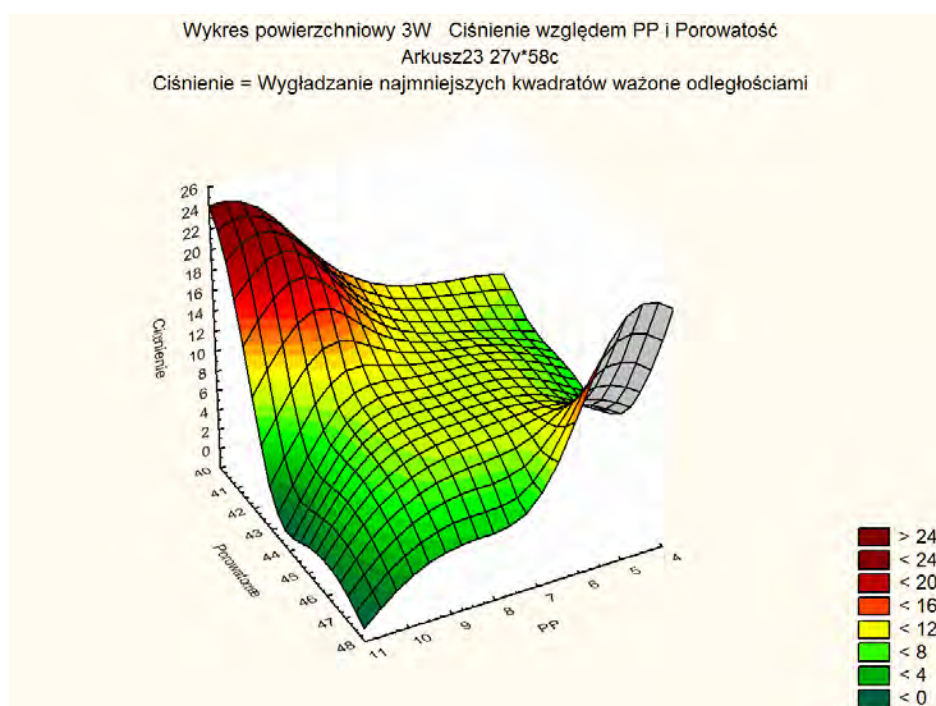
Celem, wizualizacji zależności pomiędzy zmiennymi niezależnymi i zależną wykonano wykresy 3D zamieszczone poniżej.



Rys. 14.9 Wykres powierzchniowy zależności pomiędzy porowatością, wilgotnością i promieniem penetracji.



Rys. 14.10 Wykres powierzchniowy zależności pomiędzy ciśnieniem, wilgotnością i promieniem penetracji.



Rys. 14.11 Wykres powierzchniowy zależności pomiędzy porowatością, ciśnieniem i promieniem penetracji.

14.2. ANALIZA ZALEŻNOŚCI STATYSTYCZNYCH POMIĘDZY WILGOTNOŚCIĄ, CIŚNIENIEM INIEKCJI, ILOŚCIĄ PREPARATU, A PROMIENIEM PENETRACJI W ZAPRAWACH WAPIENNYCH

Celem prowadzenia analizy statystycznej było ustalenie zależności regresyjnych pomiędzy uzyskanym promieniem penetracji (zmienna zależna) oraz ciśnieniem iniekcji, ilością preparatu i wilgotnością zaprawy wapiennej (zmienne niezależne). Obliczenia regresyjne wymagają spełnienia warunków wymienionych w rozdziale 14.1.

14.2.1. Dane i arkusz kalkulacyjny

Celem dokonania obliczeń statystycznych skonstruowano arkusz kalkulacyjny w programie STATISTICA. Arkusz przedstawiono na poniższym rysunku.

	1 Ciśnienie	2 W	3 Ilość preparatu	4 PP
1	4	6,6	250	2,5
2	4	9	150	3
3	4	11,2	400	3,5
4	5	12,6	450	4,5
5	5	15,6	500	5
6	5	17,4	550	5
7	6	18,8	500	5,5
8	6	16,6	600	5,5
9	6	22,8	600	6
10	6	23,7	600	5,5
11	7	21,5	650	6
12	7	22,6	600	6,5
13	7	24,5	800	7,5
14	7	23,8	800	8
15	7	25,6	750	7,5

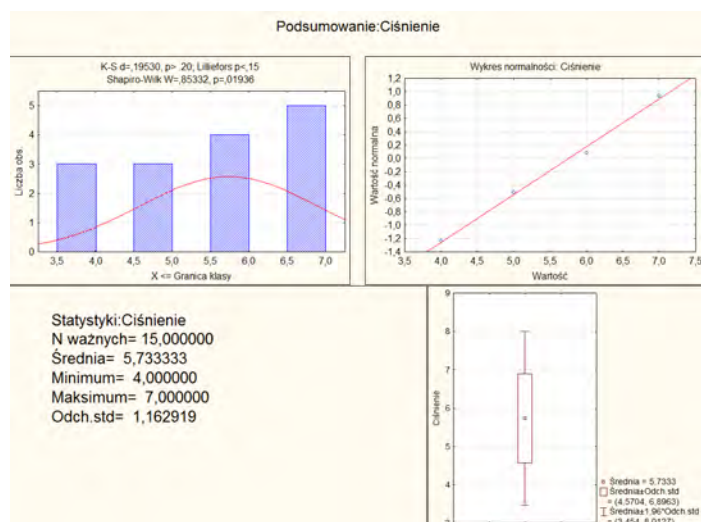
Rys. 14.12 Arkusz do obliczeń statystycznych.

14.3 Zestawienie zmiennych z opisem do arkusza kalkulacyjnego.

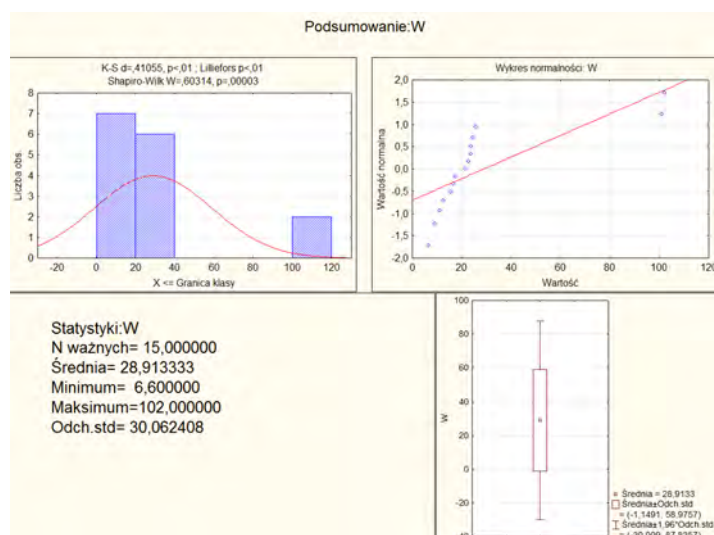
Zmienna	Oznaczenie	Opis
v1	Ciśnienie	Ciśnienie z jakim tłoczono preparat
v2	W	Wilgotność próbki zaprawy wapiennej
v3	Ilość preparatu	Ilość wtłoczonego preparatu
v4	PP	Promień penetracji

14.2.2. Sprawdzenie warunku normalności rozkładów

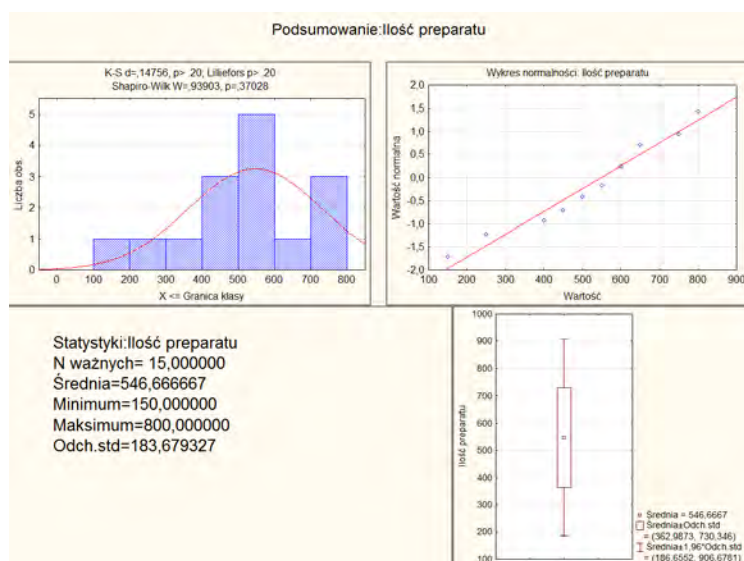
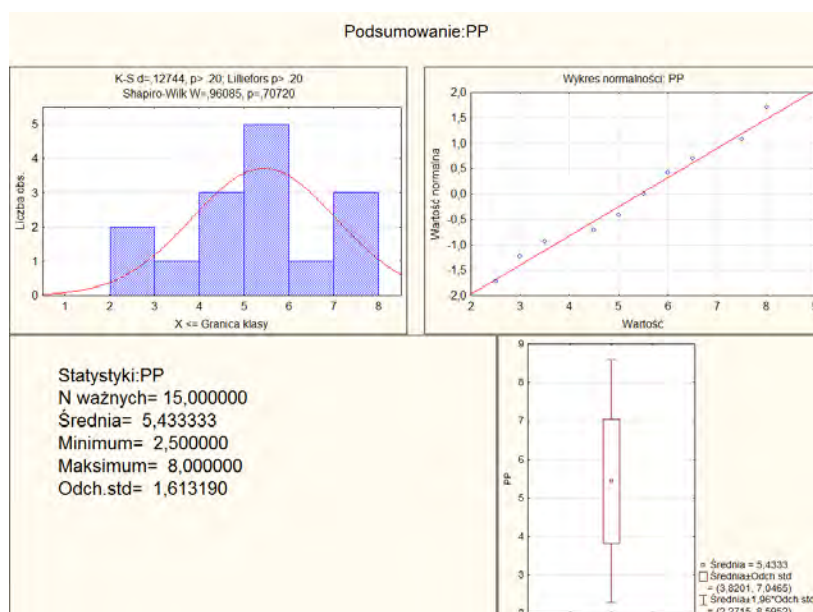
Analizie normalności rozkładów poddano zmienne: ciśnienie, wilgotność, ilość preparatu i promień penetracji. Podsumowanie statystyk z wykresami normalności oraz współczynnikiem W z testu Shapiro-Wilka przedstawiono na rysunkach zamieszczonych poniżej. Rozkład uznajemy za normalny jeśli wartość duże W jest większa od 0,881.



Rys. 14.13 Podsumowanie statystyki Ciśnienie z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,85332



Rys. 14.14 Podsumowanie statystyki W z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,60314

Rys. 14.15 Podsumowanie statystyki Ilość preparatu z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka $W=0,93903$ Rys. 14.16 Podsumowanie statystyki PP z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka $W=0,96085$

Wnioski

- Zmienna wilgotność i ciśnienie nie posiada rozkładu normalnego ($W < W_{kr} = 0,881$ dla 15 próbek i $\alpha = 0,05$).
- Zmienna ilość preparatu posiada rozkład normalny $W > W_{kr} = 0,881$.
- Zmienne wilgotność i ciśnienie nie mogły być użyte w równaniu regresji.

14.2.3. Sprawdzenie warunku jednorodności wariancji i braku korelacji pomiędzy zmiennymi niezależnymi

Ze względu na rozkład normalny tylko jednej zmiennej niezależnej nie sprawdzano warunku jednorodności wariancji i korelacji pomiędzy zmiennymi niezależnymi

14.2.4. Wyznaczenie zależności regresyjnej pomiędzy promieniem penetracji i wilgotnością

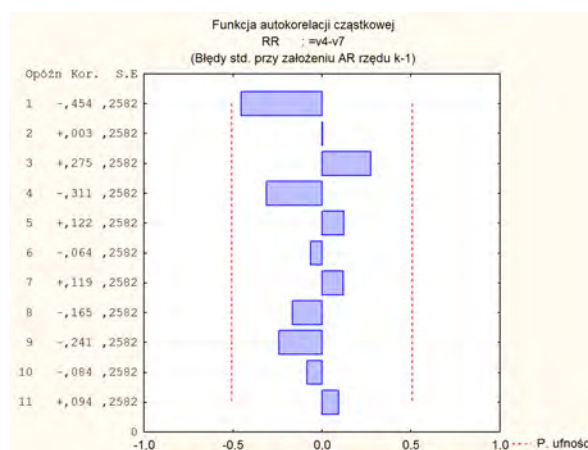
Jako zmienną zależną przyjęto promień penetracji, jako zmienną niezależną ilość preparatu. Obliczenia przeprowadzono metodą regresji wielorakiej. Wyniki obliczeń i równanie regresji zestawiono w tabeli poniżej.

Tab. 14.4 Podsumowanie regresji zmiennej zależnej promień penetracji

N=15	Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: PP (Arkusz8) R= ,95741238 R ² = ,91663847 Skoryg. R ² = ,91022605 F(1,13)=142,95 p<,00000 Błąd std. estymacji: ,48335					
	b*	Bł. std. z b*	b	Bł. std. z b	t(13)	p
W. wolny			0,836627	0,404215	2,06976	0,058956
Ilość preparatu	0,957412	0,080078	0,008409	0,000703	11,95605	0,000000
Równanie regresji	PP=0,836627+0,008409*ilość preparatu					

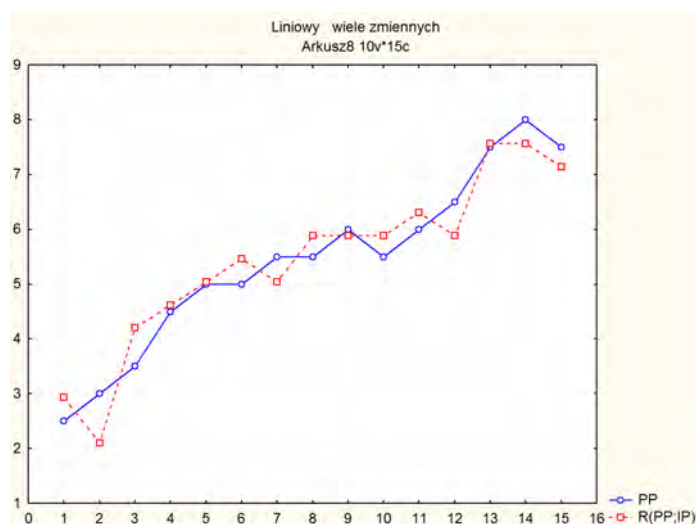
14.2.5. Sprawdzenie warunku autokorelacji cząstkowej reszt

Składnik losowy w równaniu regresji musi mieć średnią równą 0, a opóźnienia muszą wykazywać się jednakową wariancją. Warunek ten sprawdzono wykonując korelogram autokorelacji cząstkowej reszt. Stwierdzono spełnienie warunków.



Rys. 14.17 Korelogram autokorelacji cząstkowej reszt równania regresji $PP = 0,836627 + 0,008409 \cdot \text{ilość preparatu}$

Na rysunku poniżej przedstawiono wykresy liniowe pomierzonych wartości promienia penetracji oraz wartości obliczonych z równania regresji $PP = 0,836627 + 0,008409 \cdot \text{ilość preparatu}$. Celem sprawdzenia dobroci dopasowania obliczono błąd MAPE.



Rys. 14.18 Wykresy liniowe pomierzonych wartości promienia penetracji oraz wartości obliczonych z równania regresji

Celem obliczenia MAPE skonstruowano arkusz kalkulacyjny w programie Microsoft Excel. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano $MAPE = 8,678184\%$ - dopasowanie dobre.

Wniosek

Proponowany model regresji może być przyjęty do użytku.

14.3. ANALIZA ZALEŻNOŚCI STATYSTYCZNYCH POMIĘDZY WILGOTNOŚCIĄ ZAPRAWY WAPIENNEJ, CIŚNIENIEM INIEKCJI, ZUŻYCIEM PREPARATU, A PROMIENIEM PENETRACJI

Celem prowadzenia analizy statystycznej było ustalenie zależności regresyjnych pomiędzy uzyskanym promieniem penetracji (zmienna zależna) oraz ciśnieniem iniekcji, ZUŻYCIEM wilgotnością opoki (zmiennie niezależne). Obliczenia regresyjne wymagają spełnienia warunków:

- zmienne powinny mieć rozkład normalny,
- zmienne powinny wykazywać się wariancjami nie różniącymi się między sobą statystycznie,
- zmienne nie mogą być skorelowane liniowo między sobą,
- składnik losowy w równaniu regresji musi mieć średnią równą 0, a opóźnienia muszą wykazywać się jednakową wariancją.

Sprawdzenia wyżej wymienionych warunków realizowane były w następujący sposób:

- rozkład normalny - test Shapiro-Wilka,
- równość wariancji - test Levene'a,
- korelacje – obliczenie współczynnika korelacji ($r < 0,8$ – brak korelacji),
- analiza składnika resztowego – korelogram autokorelacji cząstkowej reszt.

14.3.1. Dane i arkusz kalkulacyjny

Celem dokonania obliczeń statystycznych skonstruowano arkusz kalkulacyjny w programie STATISTICA. Arkusz przedstawiono na poniższym rysunku.

	1 WA	2 WC	3 NA	4 NC	5 KA	6 KC	7 MA 14	8 MA 28	9 MA 42	10 MA 56	11 MC 14	12 MC 28	13 MC 42	14 MC 56
1	18,24	18,42	9,71	22,11	22,577	126,066	0,24	0,51	0,99	2,14	2,26	2,52	3,99	7,98
2	18,1	17,87	8,27	28,26	7,268	111,075	0,37	0,6	1,53	6,1	0,96	2,84	4,6	14,16
3	19,89	19,69	7,29	25,26	38,75	109,051	0,84	1,65	3,24	4,4	0,51	0,69	1,38	6,97
4	17,25	16,95	4,24	17,78	39,494	109,446	0,33	0,45	0,71	0,95	0,96	1,03	1,96	3,96
5	14,69	14,63	3,46	26,32	6,858	112,926	0,31	0,38	1,45	2	0,44	0,98	2,6	4,8
6	12,5	13,19	7,18	27,32	13,521	117,502	0,28	0,69	0,73	1,29	0,41	1,33	2,75	4,48
7	22,9	21,55	9,53	24,13	18,366	105,281	0,26	0,34	0,38	0,42	0,58	1,17	2,29	5,36
8	14,85	15,9	11,87	23,6	10,637	99,92	0,25	0,56	3,48	3,48	1,61	1,9	3,26	4,32

Rys. 14.19 Arkusz do obliczeń statystycznych, oznaczenia zmiennych zestawiono w tabeli poniżej.

14.5 Zestawienie zmiennych z opisem do arkusza kalkulacyjnego.

Zmienna	Oznaczenie	Opis
v1	WA	Wytrzymałość na ściskanie próbki hydrofobizowanej
v2	WC	Wytrzymałość na ściskanie próbki niehydrofobizowanej
v3	NA	Nasiąkliwość próbki hydrofobizowanej
v4	NC	Nasiąkliwość próbki niehydrofobizowanej
v5	KA	Kapilarność próbki hydrofobizowanej
v6	KC	Kapilarność próbki niehydrofobizowanej
v7	MA14	Mrozoodporność po 14 dniach próbki hydrofobizowanej
v8	MA28	Mrozoodporność po 28 dniach próbki hydrofobizowanej
v9	MA42	Mrozoodporność po 42 dniach próbki hydrofobizowanej
v10	MA56	Mrozoodporność po 56 dniach próbki hydrofobizowanej
v11	MC14	Mrozoodporność po 14 dniach próbki niehydrofobizowanej
v12	MC28	Mrozoodporność po 28 dniach próbki niehydrofobizowanej
v13	MC42	Mrozoodporność po 42 dniach próbki niehydrofobizowanej
v14	MC56	Mrozoodporność po 56 dniach próbki niehydrofobizowanej

14.3.2. Obliczenie istotności różnic między grupami A i C dla poszczególnych właściwości opoki testema t-Studenta

Prowadzone w tym rozdziale obliczenia mają na celu wykazanie, że istnieją różnice pomiędzy właściwościami fizycznymi próbek hydrofobizowanych i niehydrofobizowanych. Dowód prowadzony będzie z wykorzystaniem testu t-Studenta. Możliwość zastosowania testu t-Studenta uwarunkowana jest spełnieniem 3 założeń:

- ilość pomiarów w grupach powinna być zbliżona
- zmienne powinny mieć rozkład normalny
- zmienne powinny wykazywać się wariacjami nie różniącymi się między sobą statystycznie.

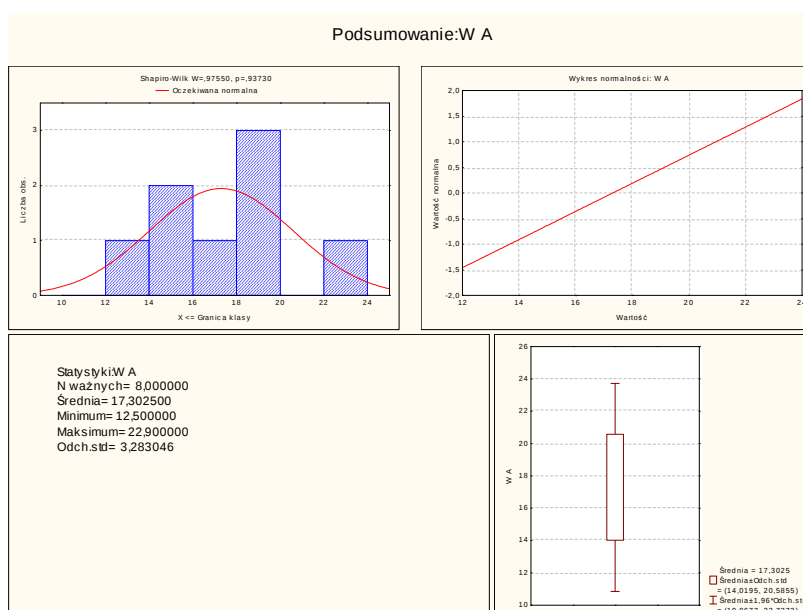
Warunki powyższe sprawdzane będą w kolejnych punktach.

Ilość pomiarów w grupach jest taka sama.

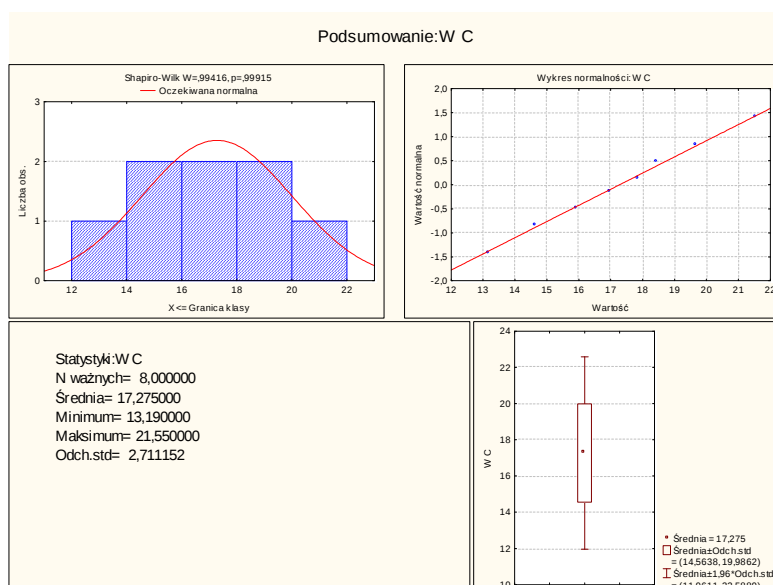
We wszystkich 14 grupach przyjęto do analizy po 14 pomiarów - warunek spełniony.

Sprawdzenie warunku normalności rozkładów

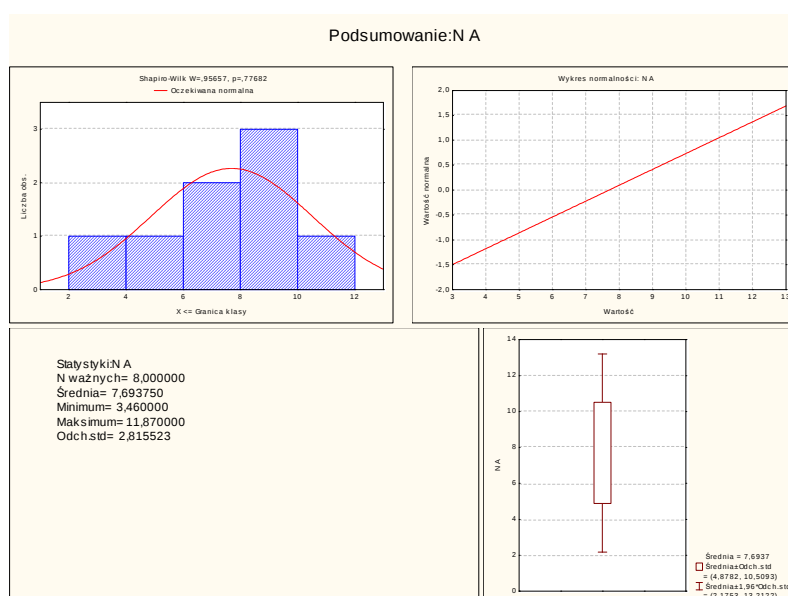
Wszystkie zmienne poddano analizie dopasowania rozkładów. Warunek normalności testowano testem Shapiro-Wilka. Wykresy i wyniki testu Shapiro-Wilka przedstawiono poniżej.



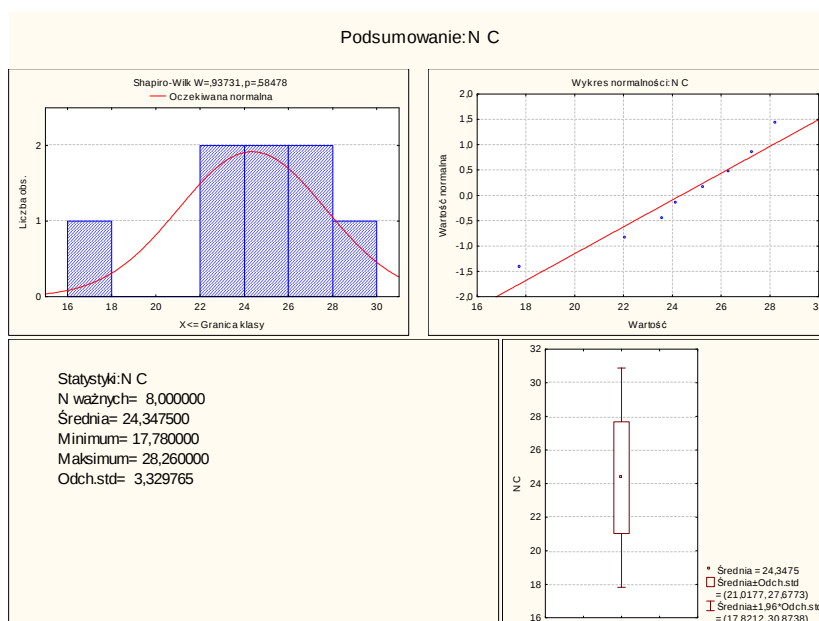
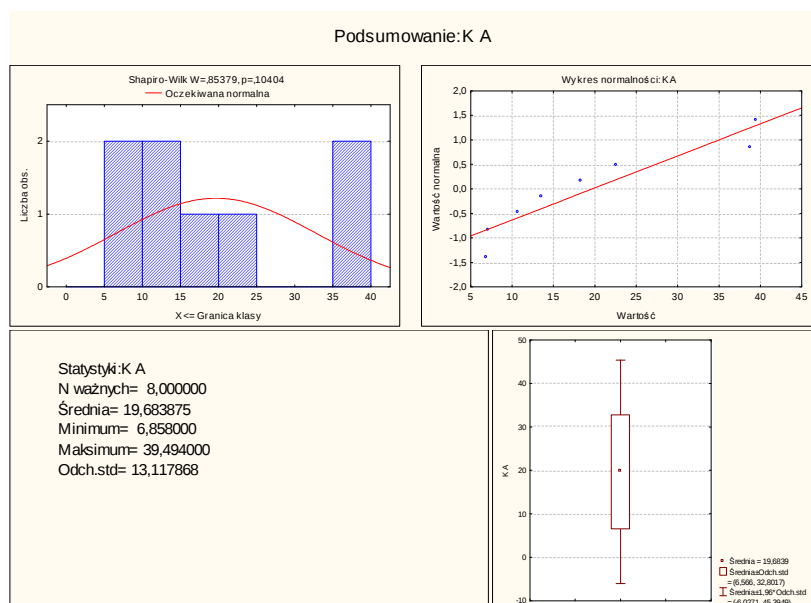
Rys. 14.20 Podsumowanie statystyki W A z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,9755

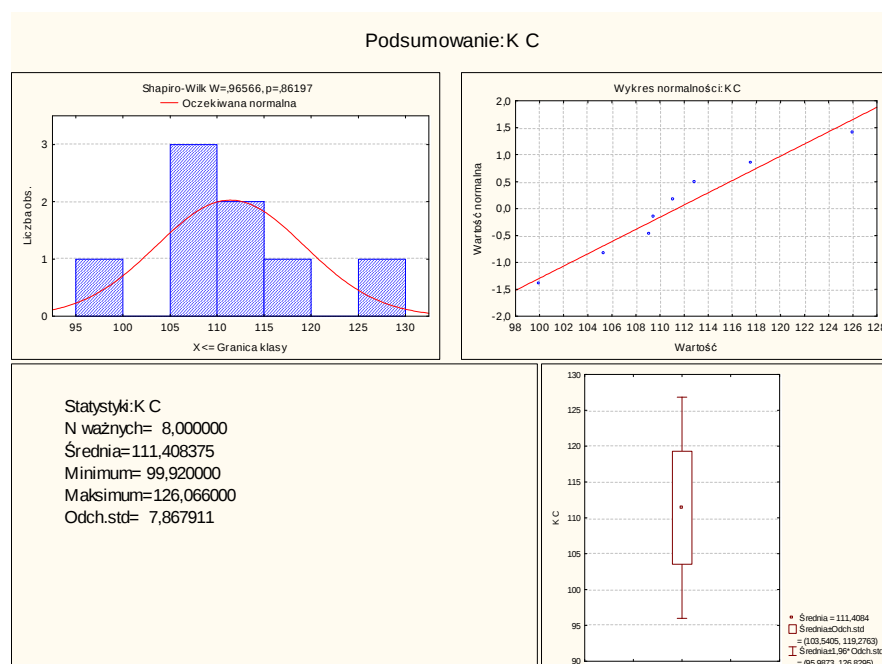
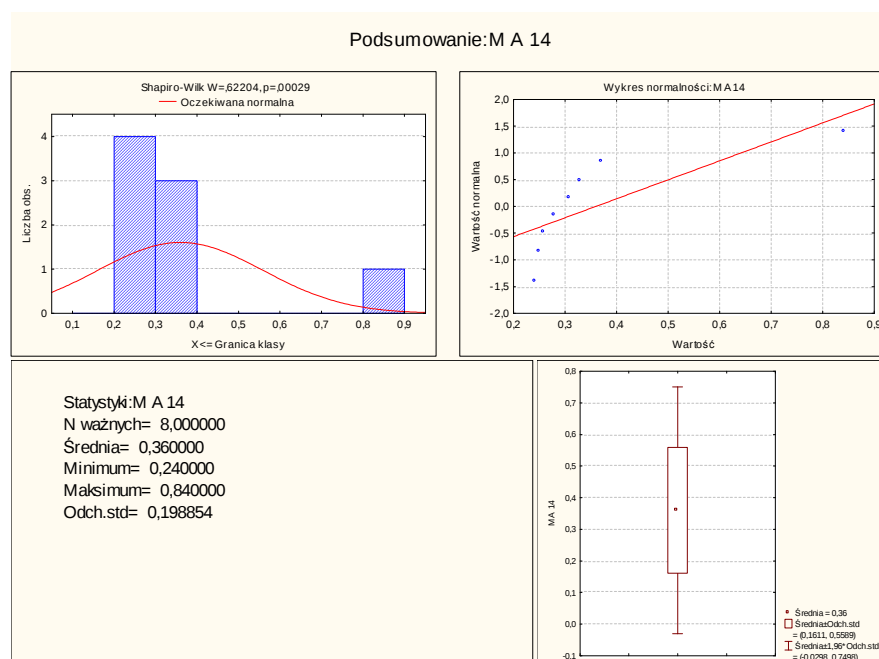


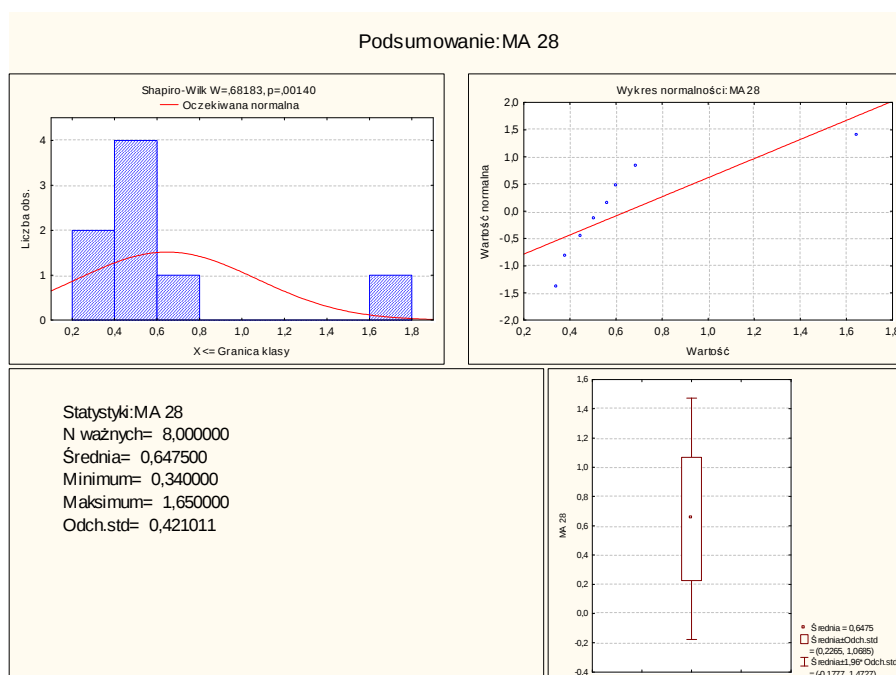
Rys. 14.21 Podsumowanie statystyki W C z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,99416



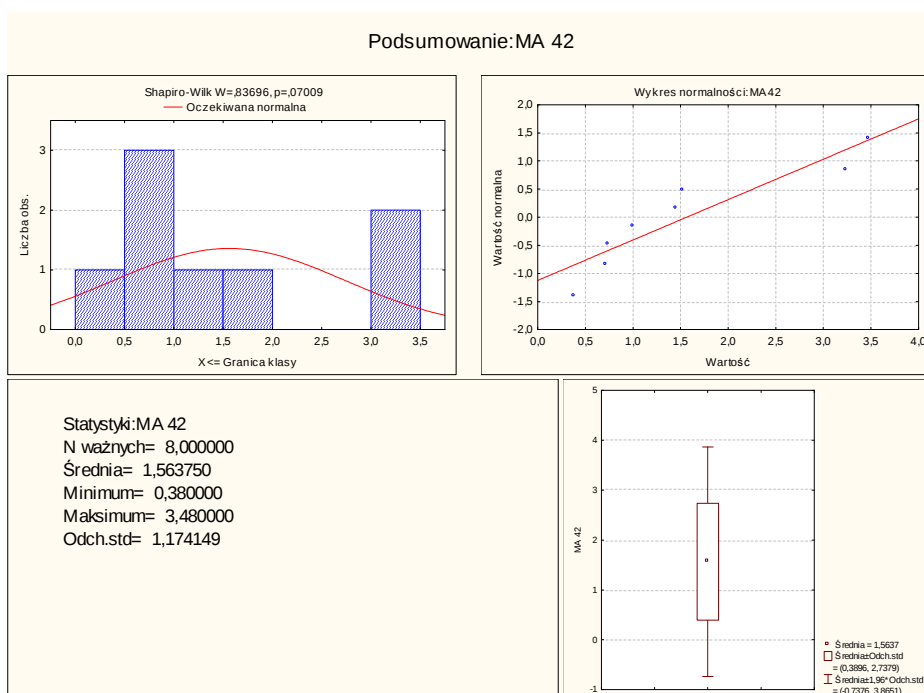
Rys. 14.22 Podsumowanie statystyki N A z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,95657

Rys. 14.23 Podsumowanie statystyki NC z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka $W=0,93731$ Rys. 14.24 Podsumowanie statystyki KA z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka $W=0,85379$

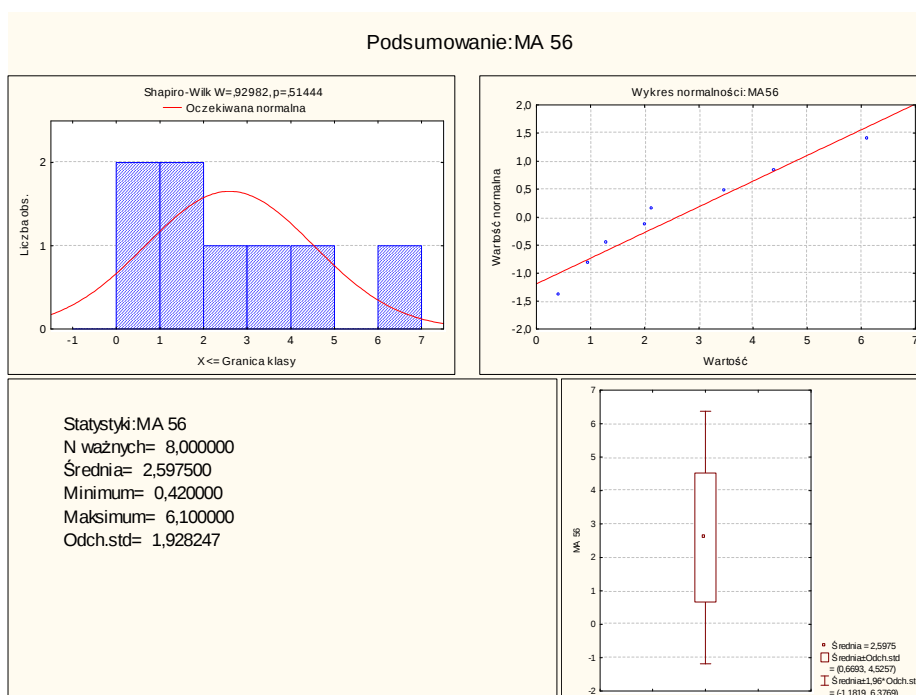
Rys. 14.25 Podsumowanie statystyki KC z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka $W=0,96566$ Rys. 14.26 Podsumowanie statystyki MA14 z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka $W=0,62204$



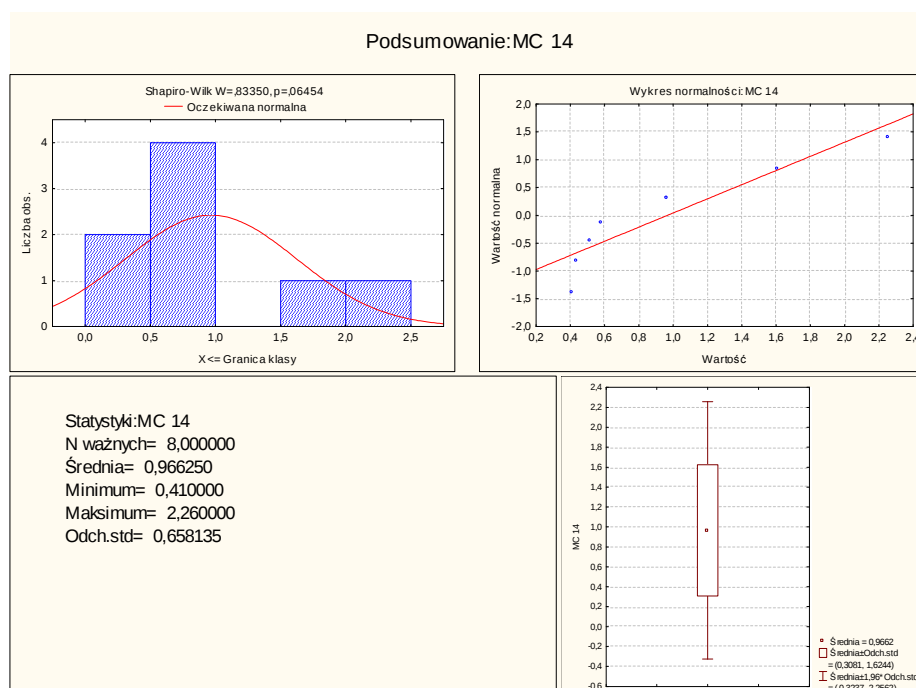
Rys. 14.27 Podsumowanie statystyki MA28 z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,68183



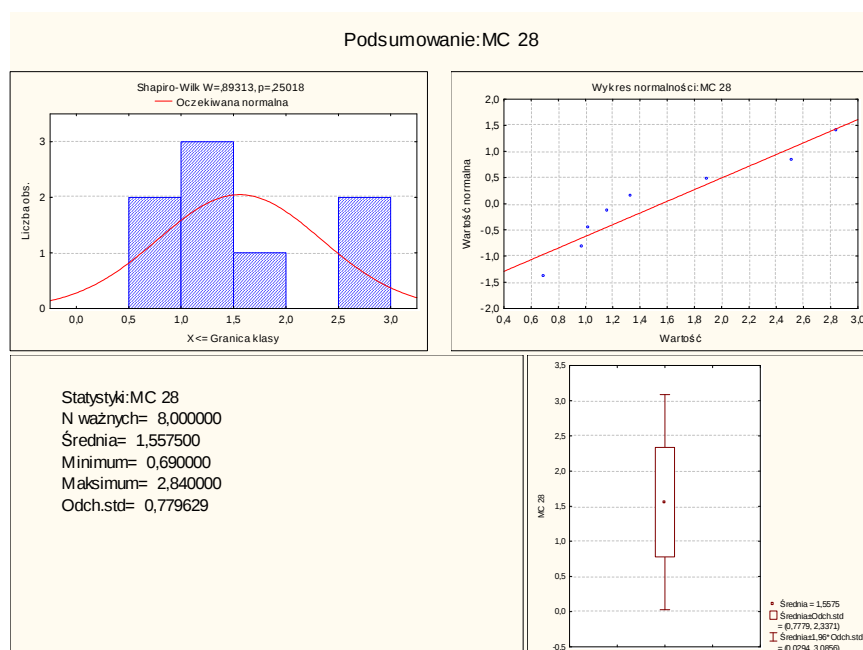
Rys. 14.28 Podsumowanie statystyki MA42 z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,83696



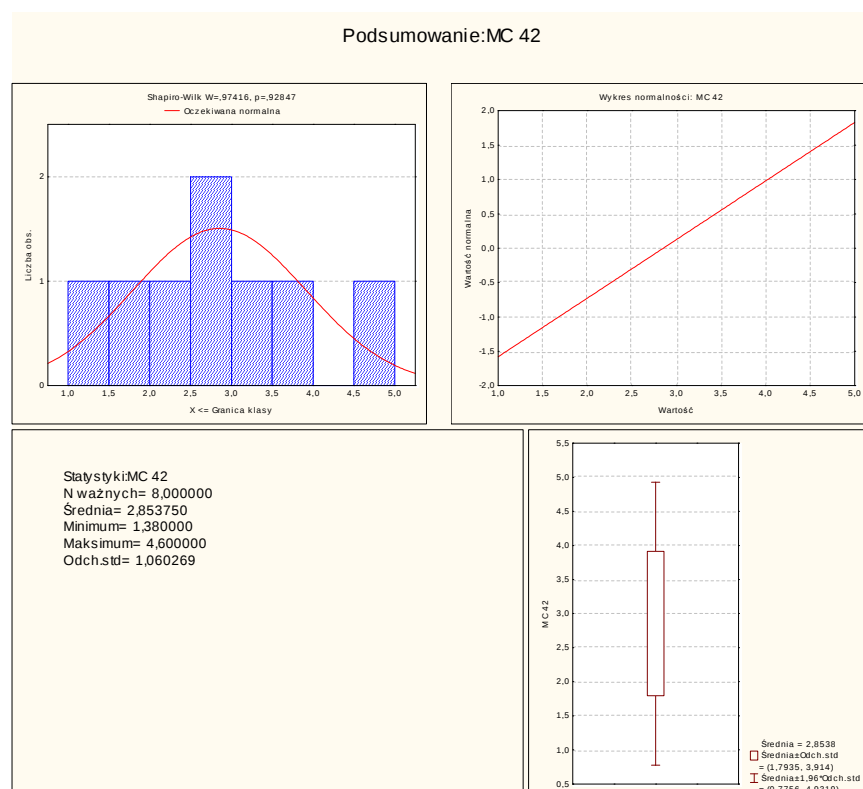
Rys. 14.29 Podsumowanie statystyki MA56 z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,92982



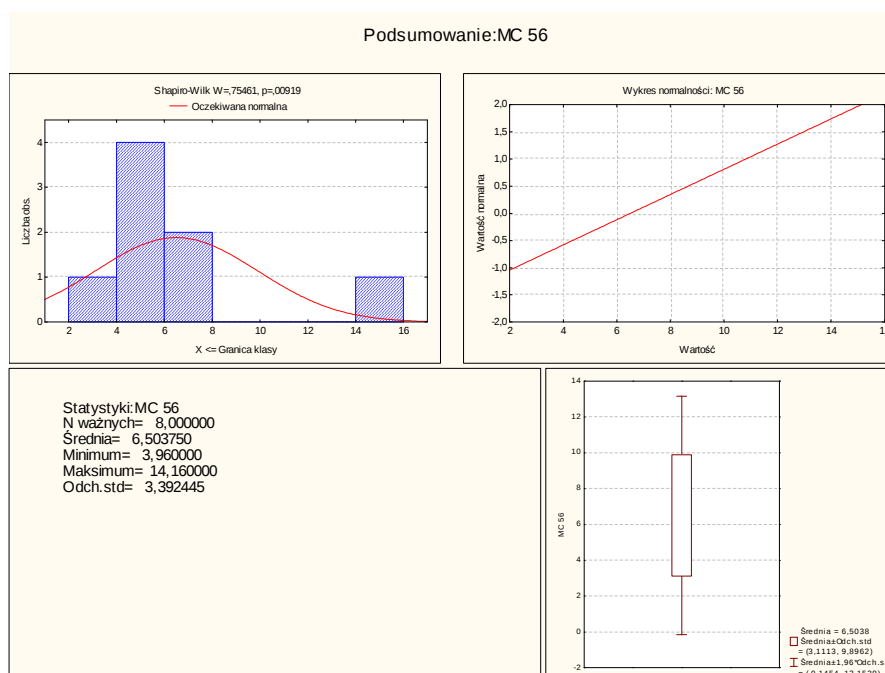
Rys. 14.30 Podsumowanie statystyki MC14 z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,83350



Rys. 14.31 Podsumowanie statystyki MC28 z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,89313



Rys. 14.32 Podsumowanie statystyki MC42 z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,97416



Rys. 14.33 Podsumowanie statystyki MC56 z wykresem normalności i testem Shapiro-Wilka W=0,75461

Wartość krytyczna W testu Shapiro-Wilka dla poziomu istotności $\alpha=0,05$ i $n=8$ przypadków zmiennych v1-v14 odczytana z tablic wynosi 0,818. Jeśli obliczony parametr W jest mniejszy niż 0,818 to nie ma podstaw do przyjęcia, że dana zmienna ma rozkład normalny.

Tab. 14.6 Zestawienie obliczonych wartości parametrów W Shapiro-Wilka dla zmiennych v1-v14 wraz z określeniem normalności ich rozkładu.

Zmienna	Oznaczenie	Wartość W Shapiro-Wilka	Normalność rozkładu
v1	WA	0,9755	Tak
v2	WC	0,9942	Tak
v3	NA	0,9566	Tak
v4	NC	0,9373	Tak
v5	KA	0,8538	Tak
v6	KC	0,9657	Tak
v7	MA14	0,6221	NIE
v8	MA28	0,6818	NIE
v9	MA42	0,8370	Tak
v10	MA56	0,9298	Tak
v11	MC14	0,8335	Tak
v12	MC28	0,8931	Tak
v13	MC42	0,9742	Tak
v14	MC56	0,7546	Tak

Wniosek

Stwierdzono na podstawie przeprowadzonego testu, że zmienne v7 i v8 nie posiadają rozkładu normalnego. Pozostałe zmienne mają rozkład normalny dla poziomu istotności $\alpha=0,05$. Zmienne v7 i v8 nie będą podlegały ocenie równości wariancji w kolejnym punkcie analizy. W etapie późniejszym określania zależności regresyjnych nie będą mogły być predyktorami w prognozowaniu metodą regresji wielorakiej.

Analiza wariancji

Zmienne powinny wykazywać się wariancjami nie różniącymi się między sobą statystycznie. Zmienne v1-v6 oraz v9-v14 zgrupowano w jedną kolumnę tworząc nowy arkusz kalkulacyjny. Otrzymano w ten sposób nową zmienną, dla której określono wariancję. Oceniono jej zmienność testem Levene'a.

Tab. 14.7 Zestawienie wyników testu Levene'a jednorodności wariancji

Zmienna	Test Levene'a jednorodności wariancji (WNKM 2 arkusz podstawowy) Zaznaczone efekty są istotne z $p < ,05000$							
	SS Efekt	df Efekt	MS Efekt	SS Błąd	df Błąd	MS Błąd	F	p
WARIANCJA	149,6180	7	21,37400	55683,40	96	580,0355	0,036849	0,999935

Wniosek

Zmienne v1-v6 oraz v9-v14 wykazują się wariancjami nie różniącymi się między sobą statystycznie w sposób istotny.

Obliczenie istotności różnic między grupami A i C dla poszczególnych właściwości test t-Studenta.

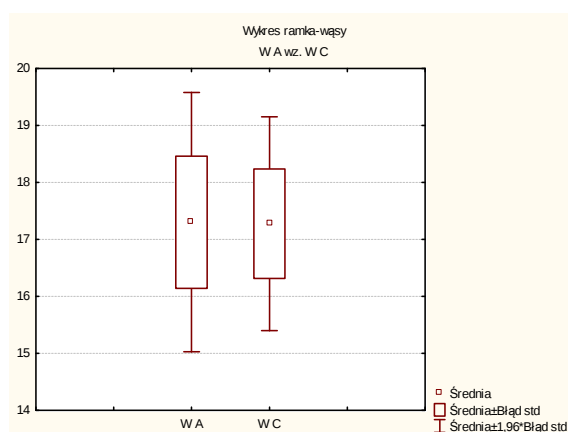
Istotność różnic między grupami A i C obliczono dla W, N, K, M42, M56.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 4 – 8 odpowiednio dla zmiennych W, N, K, M42, M56 oraz zilustrowano na rys.16- 20. Zestawienie istotności różnic między grupami zestawiono w tabeli 9.

Tab. 14.8 Zestawienie wyników testu t Studenta dla porównywanych grup WA i WC.

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (WNKM 2 arkusz podstawowy) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.						
	Średnia Grupa 1	Średnia Grupa 2	t	df	p	N ważnych Grupa 1	N ważnych Grupa 2
W A vs. W C	17,30250	17,27500	0,018268	14	0,985683	8	8

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (WNKM 2 arkusz podstawowy) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.			
	Odch. std Grupa 1	Odch. std Grupa 2	iloraz F Wariancje	p Wariancje
W A vs. W C	3,283046	2,711152	1,466380	0,626074

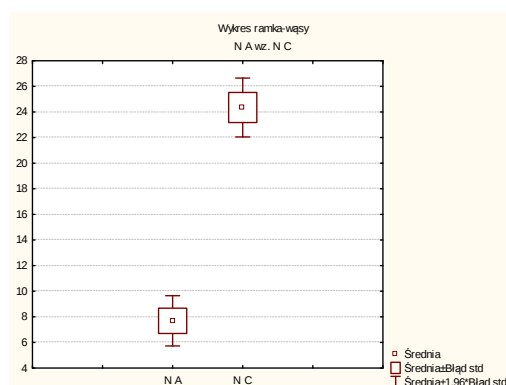


Rys. 14.34 Wykres ramka- wąsy dla zmiennych WA i WC

Tab. 14.9 Zestawienie wyników testu t Studenta dla porównywanych grup NA i NC

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (WNKM 2 arkusz podstawowy) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.						
	Średnia Grupa 1	Średnia Grupa 2	t	df	p	N ważnych Grupa 1	N ważnych Grupa 2
N A vs. N C	7,693750	24,34750	-10,8023	14	0,000000	8	8

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (WNKM 2 arkusz podstawowy) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.			
	Odch.std Grupa 1	Odch.std Grupa 2	iloraz F Wariancje	p Wariancje
N A vs. N C	2,815523	3,329765	1,398650	0,669122

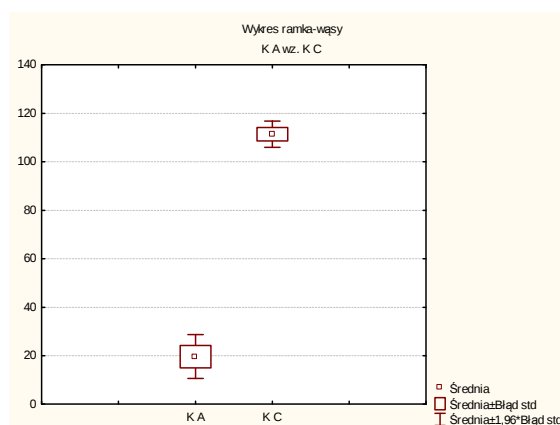


Rys. 14.35 Wykres ramka- wąsy dla zmiennych NA i NC

Tab. 14.10 Zestawienie wyników testu t Studenta dla porównywanych grup KA i KC

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (WNKM 2 arkusz podstawowy) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.						
	Średnia Grupa 1	Średnia Grupa 2	t	df	p	N ważnych Grupa 1	N ważnych Grupa 2
K A vs. K C	19,68387	111,4084	-16,9605	14	0,000000	8	8

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (WNKM 2 arkusz podstawowy) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.			
	Odch.std Grupa 1	Odch.std Grupa 2	iloraz F Wariancje	p Wariancje
K A vs. K C	13,11787	7,867911	2,779762	0,200786

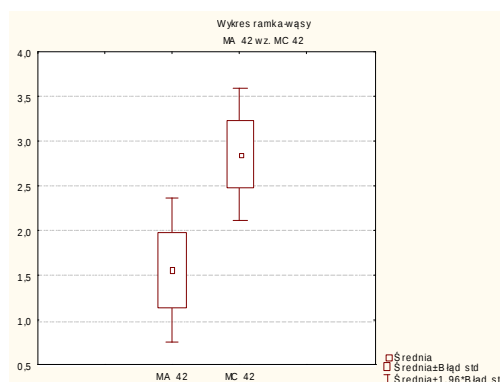


Rys. 14.36 Wykres ramka- wąsy dla zmiennych KA i KC

Tab. 14.11 Zestawienie wyników testu t Studenta dla porównywanych grup MA42 i MC 42

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (maciek WNKM 2 arkusz podstawowy) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.						
	Średnia Grupa 1	Średnia Grupa 2	t	df	p	N ważnych Grupa 1	N ważnych Grupa 2
MA 42 vs. MC 42	1,563750	2,853750	-2,30633	14	0,036904	8	8

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (maciek WNKM 2 arkusz podstawowy) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.			
	Odch.std Grupa 1	Odch.std Grupa 2	iloraz F Wariancje	p Wariancje
MA 42 vs. MC 42	1,174149	1,060269	1,226351	0,794657

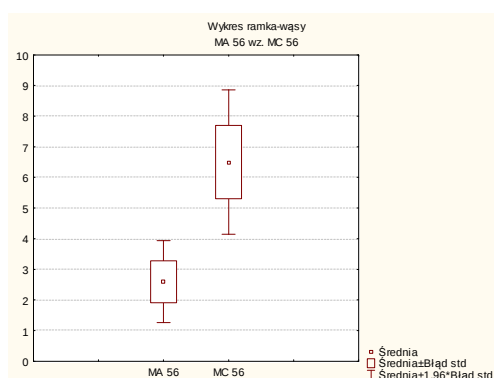


Rys. 14.37 Wykres ramka- wąsy dla zmiennych MA 42 i MC 42

Tab. 14.12 Zestawienie wyników testu t Studenta dla porównywanych grup MA 56 i MC 56

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (maciek WNKM 2 arkusz podstawowy) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.						
	Średnia Grupa 1	Średnia Grupa 2	t	df	p	N ważnych Grupa 1	N ważnych Grupa 2
MA 56 vs. MC 56	2,597500	6,503750	-2,83139	14	0,013330	8	8

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych (maciek WNKM 2 arkusz podstawowy) Uwaga: Zmienne traktowane są jako niezależne próby.			
	Odch.std Grupa 1	Odch.std Grupa 2	iloraz F Wariancje	p Wariancje
MA 56 vs. MC 56	1,928247	3,392445	3,095283	0,159150

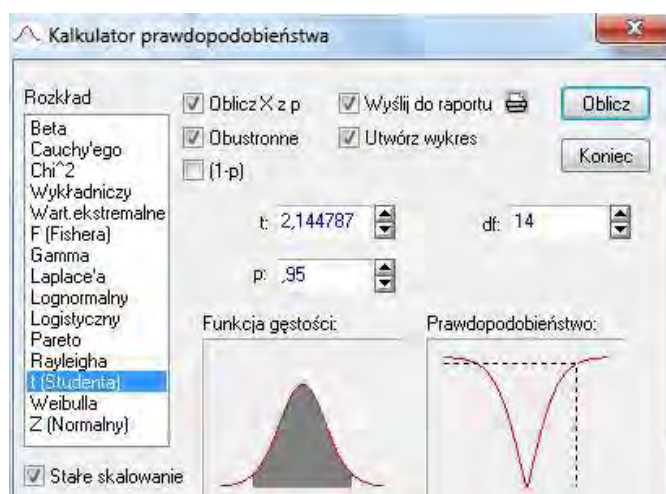


Rys. 14.38 Wykres ramka- wąsy dla zmiennych MA 56 i MC 56

Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli zamieszczonej poniżej. Wartość krytyczną t obliczono dla 14 stopni swobody ($2n-2$) z prawdopodobieństwem popełnienia błędu 0,05. Wartość krytyczna wynosi 2,1448. Zatem jeśli obliczone t jest mniejsze od -2,1448 lub większe od 2,1448 to grupy różnią się między sobą. Jeśli t należy do przedziału od -2,1448 do 2,1448 to grupy nie różnią się między sobą w sposób istotny.

Tab. 14.13 Zestawienie wyników testu t Studenta dla grup A i C właściwości fizycznych

Porównywane grupy	Wartość obliczona współczynnika t	Istotność różnic w grupach
WA - WC	0,018268	NIE
NA - NC	-10,8023	TAK
KA - KC	-16,9605	TAK
MA 42 – MC 42	-2,30633	TAK
MA 56 – MC 56	- 2,83139	TAK

Rys. 14.39 Wartości krytyczne testu t Studenta

Wnioski

Hydrofobizacja opoki ma istotny wpływ na zmianę jej nasiąkliwości, kapilarności i mrozoodporności. Nie stwierdzono istotnej zmiany statystycznej wytrzymałości na ściskanie próbek przed i po procesie hydrofobizacji.