

Wpływ techniki poboru próbek na wiarygodność wyników badań wilgotności metodą grawimetryczną

Weronika Kendzierawska

w.kendzierawska@pollub.pl
<https://orcid.org/0000-0001-8984-2164>

Maciej Trochonowicz

m.trochonowicz@pollub.pl
<https://orcid.org/0000-0001-7742-7916>

Wojciech Chachaj

*Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska*

Streszczenie: Wilgotność należy do podstawowych cech fizycznych materiału. Badania laboratoryjne mające na celu wyznaczenie procentowej zawartości wody w materiale są stosunkowo proste i nie wymagają skomplikowanej aparatury badawczej. Problemem jest natomiast wiarygodność badań wilgotności przegród. Podczas tego typu badań istnieje konieczność pobrania próbek z obiektu i ich transportu do laboratorium. Podczas obydwu tych czynności mają miejsce straty na masie wody zawartej w próbce. Zmiany w wilgotności próbek, związane z koniecznością ich transportu, można zminimalizować poprzez stosowanie szczelnych pojemniki i obniżenie temperatury. Zagadnieniem znacznie trudniejszym do realizacji jest eliminacja strat w masie wody zawartej w próbkach podczas ich pobierania.

Instrukcje badań wilgotności metodą laboratoryjną zalecają pobieranie próbek metodami odkuwania lub też za pomocą tzw. wybijaków rurowych. Takie metody poboru mają wykluczyć straty na masie wody. W wielu przypadkach występuje konieczność pobrania próbki z dość znacznej głębokości lub też badania dotyczą obiektów o dużej wartości historycznej. Wyklucza to zalecane przez instrukcje metody poboru. Dlatego też najczęściej stosowaną metodą pobierania próbek, w obiektach istniejących jest wykonanie odwiertu i badanie pobranej zwierziny. Podczas procesu wiercenia dochodzi do przegrzewania się zwierziny i odparowywania wody. W literaturze naukowej i wszelkiego rodzaju opracowaniach technicznych dość często sugeruje się uwzględnienie tego zjawiska. Niestety brakuje informacji o wartości poprawek jakie należałoby przyjąć.

Celem opracowania jest wykazanie różnicy w wilgotnościach masowych mierzonych metodą laboratoryjną tych samych próbek przy różnych technikach poboru. Dodatkowo wyznaczone zostały wartości poprawek dla określonych przedziałów wilgotnościowych.

Słowa kluczowe: badanie wilgotności, metoda grawimetryczna, metoda bezpośrednia, wilgotność masowa, cegła ceramiczna, beton komórkowy, bloczek silikatowy, opoka wapnista

Wstęp

Celem niniejszego artykułu jest sformułowanie odpowiedzi na pytanie, czy i w jaki sposób prędkość wiercenia przy poborze próbek z różnych materiałów budowlanych, wpływa na uzyskiwane wyniki badań wilgotnościowych w metodzie grawimetrycznej. Aby uzyskać odpowiedź na postawione powyżej pytanie, zastosowano wiercenie szybkoobrotowe oraz wiercenie wolnoobrotowe, a jako wartość miarodajną przyjęto wartość obliczoną z odkutej próbki. Ponadto wyznaczono poprawki obliczeniowe dla różnych przedziałów wilgotności. Gdyby

uzyskane wyniki wskazywały podobny błąd w przypadku obu prędkości wiercenia, to badacze mogliby stosować wiercenie szybkoobrotowe zamiast wolnoobrotowego, a tym samym oszczędzać czas przy pobieraniu próbek. Natomiast w sytuacji, gdyby jedna z szybkości wiercenia okazała się obciążona mniejszym błędem, wówczas należałoby ją stosować, w celu zmaksymalizowania dokładności badań.

Opis badania

Badania wilgotnościowe przeprowadzono wykorzystując metodę bezpośrednią – grawimetryczną. Jest to metoda niszcząca, charakteryzująca się wysoką dokładnością wyników. Wymaga pobrania próbek w postaci zwierziny lub odkutego kawałka materiału. Ważne jest aby próbki nie były przesuszone co prowadziłoby do uzyskania niemiernodajnych wyników.¹ W ramach przeprowadzonej analizy sprawdzono cztery powszechnie stosowane materiały – cegłę pełną, beton komórkowy, bloczki silikatowe oraz opokę wapnistą, często spotykaną w budynkach zabytkowych. Na powierzchni materiałów oznaczono siatkę punktów, a następnie za pomocą wiertarki udarowej pobrano zwierzinę. Następnie próbki zważono, wysuszono, ponownie zważono oraz obliczono wilgotność masową. Otrzymano wyrażony w procentach stosunek masy wody, zawartej w próbce materiału do jej masy w stanie suchym.² Po wykonaniu odwiertów wykuto próbkę wzorcową. Te próbki przebadano analogicznie jak zwierzinę.

Przygotowanie próbek

Wymurowano cztery słupki z **cegły ceramicznej pełnej** na zaprawie cementowo wapiennej klasy M4. Przed rozpoczęciem murowania cegły namaczano w wodzie, w celu zmniejszenia pobierania wilgoci z zaprawy. Po zakończeniu prac murarskich, słupki pozostawiono na 2 tygodnie, do momentu osiągnięcia wytrzymałości. Następnie próbki wstawiono do rynny z wodą, sięgającą na wysokość 3 cm. W takich warunkach murki spędziły kolejne 2 tygodnie. Probki z pierwszego słupka pobrano bezpośrednio po wyjęciu z wody. Słupki 2 i 3 owinięto folią stretch i umieszczono w suchym miejscu w laboratorium, odpowiednio na 1 oraz 2 dni, a następnie pobrano próbki. Ostatni murek dzień przed pobraniem próbek został odwrócony w wodzie. Te zabiegi zastosowano w celu zróżnicowania otrzymanych wyników wilgotności.

Następnie przygotowano cztery **bloczki silikatowe pełne**, zawierające kruszywo bazaltowe. Pierwszym krokiem było wysuszenie bloczków do stałej masy, w suszarce w temperaturze 105 °C. W celu nasączenia bloczków wodą do określonej wilgotności, owinięto je folią stretch oraz wypełniono odpowiednią ilością wody. Założono wilgotności: w pierwszym bloczku 4%, w drugim 8%, w trzecim 12%, w czwartym 16%. Ilość wody potrzebnej do nasycenia bloczków do wcześniej wymienionych wilgotności obliczono ze wzoru na wilgotność masową. Woda została wylana na ofoliowane bloczki za pomocą cylindra miarowego, a następnie folia została szczelnie zamknięta. Bloczki zostały pozostawione w laboratorium i były odwracane dwa razy w tygodniu, w celu lepszego rozkładu wilgoci. Bloczki zostały odpakowane bezpośrednio przed poborem próbek.

Przygotowanie czterech bloczków z **autoklawizowanego betonu komórkowego**, o gęstości objętościowej 400 kg/m³, rozpoczęto od umieszczenia ich w rynnie z wodą na okres 2 tygodni. Probki z pierwszego bloczka pobrano bezpośrednio po wyjęciu z wody, z drugiej po uprzednim pozostawieniu bloczka przez jeden dzień w laboratorium. Dwa ostatnie bloczki zostały zawinięte w folię stretch i pozostawione w laboratorium na okres, odpowiednio, 2 oraz 3 dni. Po wykonaniu badań resztki zostały wysuszone do stałej masy, a następnie zbadane ponownie.

Następnie przygotowano do badań siedem skał **opoki wapnistej**. Kamienie zostały ułożone w rynnie z wodą na okres około miesiąca. Jeden z kamieni został położony obok rynny (nie był zamoczony). Probki z pierwszego mokrego kamienia oraz z suchego zostały pobrane bezpośrednio po wyjęciu go z wody, natomiast reszta spędziła kilka dni w laboratorium, w celu zmniejszenia ich wilgotności i zróżnicowania wyników.

1 Trochonowicz M., *Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych*, Budownictwo i Architektura 7/2010.

2 Kamiński K., *Wilgotność higroskopijna podstawą diagnostyki stanu zawilgocenia przegrody budowlanej*, Materiały Budowlane 3/2014, 20–21.



Ryc. 1. Słupki z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie cementowo-wapiennej



Ryc. 2. Błoczek silikatowy Silka E-A, zawierający kruszywo bazaltowe



Ryc. 3. Błoczek 24×20×60 cm z gładkiego betonu komórkowego o gęstości objętościowej 400 kg/m³ marki H+H

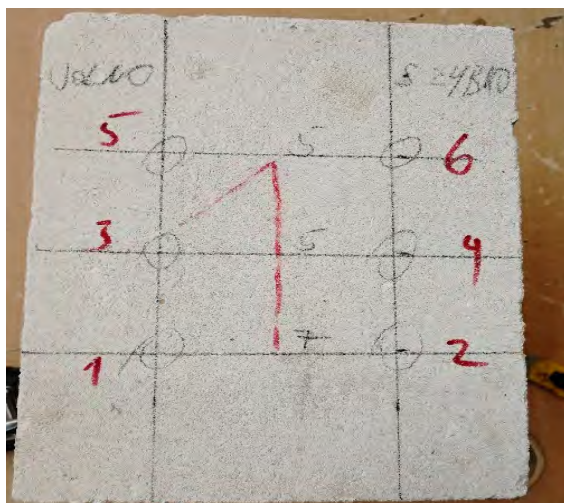


Ryc. 4. Opoka wapnista pochodząca z budowy znajdującej się na terenie Lublina

Metoda pobierania próbek

W celu zbadania wilgotności wyżej wymienionych materiałów zastosowano metodę grawimetryczną.³ Na powierzchni każdego materiału narysowano siatkę punktów, z których została pobrana zwiercina. Otwory były rozmieszczane parami tak, aby próbka z lewej strony była pobrana za pomocą wiercenia wolnoobrotowego, tj. 145 obrotów na minutę, a z prawej za pomocą wiercenia szybkoobrotowego, tj. 280 obrotów na minutę. Do pobrania próbek wykorzystano młot udarowo-obrotowy Bosch GBH 7-46 DE z uchwytem SDS-Max. Po wykonaniu odwiertów, mierzono temperaturę wewnątrz otworu za pomocą pirometru. W celu zminimalizowania strat wilgotności otwory uzupełniono styropianem. Następnym krokiem było wykucie wzorcowej próbki pomiędzy wywierconych otworów. Ta próbka posłużyła do określenia rzeczywistej wilgotności, ponieważ nie została ona przesuszona w trakcie wiercenia. Do wykuwania użyto młotka, dłuta oraz młota udarowo-obrotowego.

³ Trochonowicz M., *Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych*, Budownictwo i Architektura 7/2010.



Ryc. 5. Siatka punktów na bloczku silikatowym



Ryc. 6. Bloczek silikatowy po pobraniu zwierciny



Ryc. 7. Siatka punktów na bloczku z autoklawizowanego betonu komórkowego



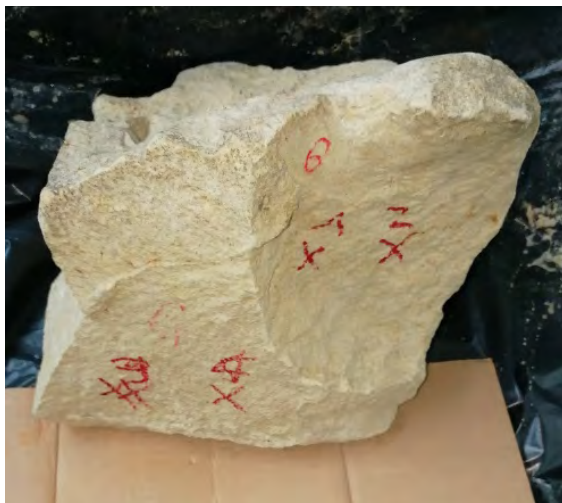
Ryc. 8. Bloczek z autoklawizowanego betonu komórkowego z uzupełnionymi otworami po wiercieniu



Ryc. 9. Bloczek betonu komórkowego po odkuciu próbek



Ryc. 10. Oznaczenie punktów poboru zwierciny na murku



Ryc. 11. Oznaczenie punktów poboru zwierziny na opoce wapiastej



Ryc. 12. Opoka wapiasta po pobraniu zwierziny

Metoda wyznaczania wilgotności

Do określenia wilgotności próbek wykorzystano metodę grawimetryczną. Pobrana zwierzina została umieszczana w szklanym naczyniu, następnie natychmiastowo (aby ograniczyć straty wilgotności) zważona z dokładnością do 0,0001 g. Po zważeniu próbki zostały umieszczone w suszarce laboratoryjnej i wysuszone do stałej masy w temperaturze 105°C. Po upływie 24 godzin próbki zostały ponownie zważone oraz została obliczona wilgotność masowa. Otrzymano wyrażony w procentach stosunek masy wody, zawartej w próbce materiału do jej masy w stanie suchym.⁴



Ryc. 13. Szklane naczynia wykorzystane w badaniach



Ryc. 14. Ważenie zwierziny na wadze laboratoryjnej Waga Ohaus Pioneer PA413/1

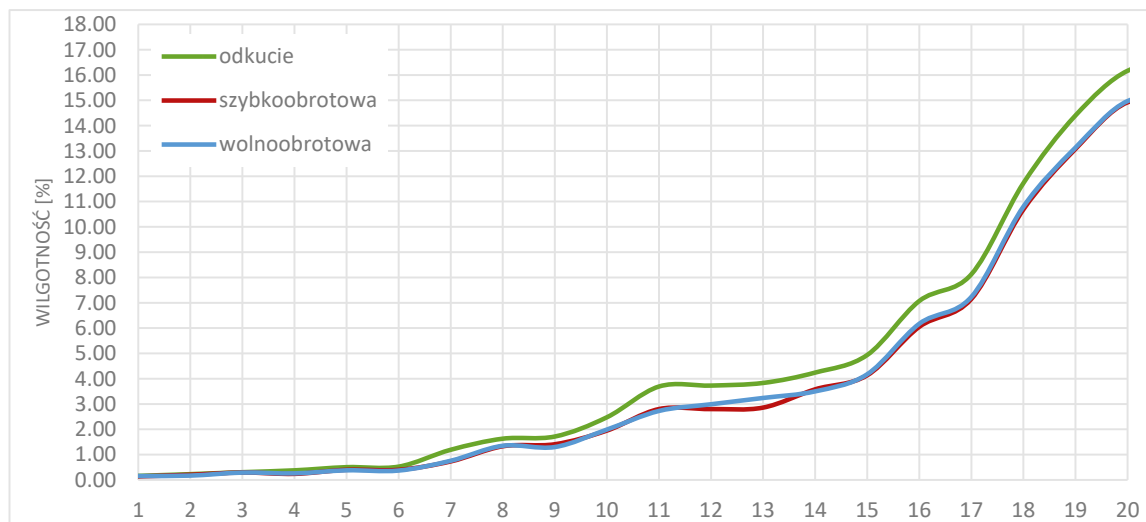


Ryc. 15. Próbkki w suszarce laboratoryjnej EcoCell 55

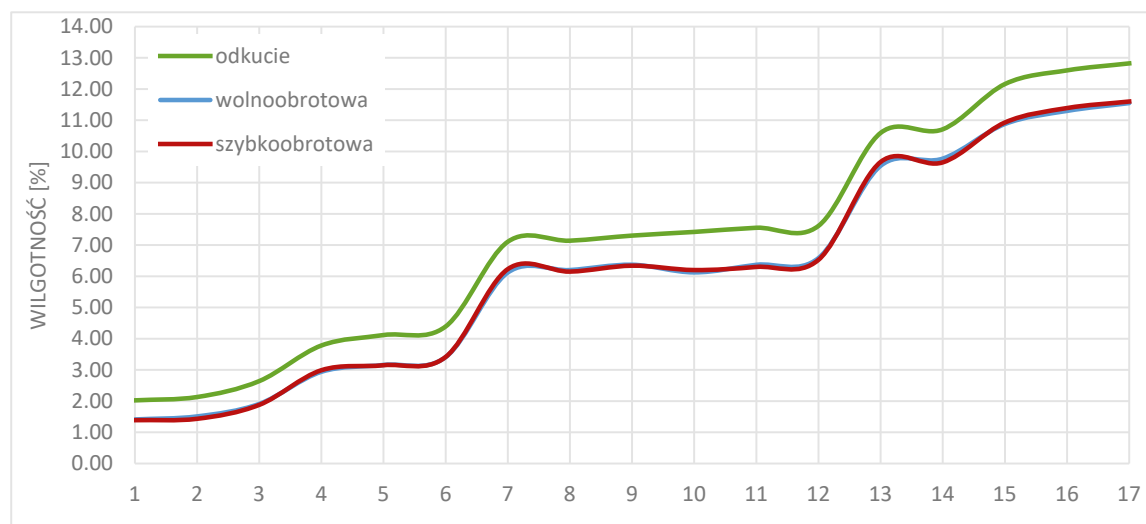
⁴ Kamiński K., *Wilgotność higroskopijna podstawą diagnostyki stanu zawilgocenia przegrody budowlanej*, Materiały Budowlane 3`2014, 20–21.

Wyniki

Wyniki opracowano w formie tabeli. Zawiera ona dokładne wyniki wilgotności, temperatury otworów, z których pobrano zwiercinę oraz obliczone różnice pomiędzy wilgotnością traktowaną jako rzeczywistą, a wilgotnością obliczoną z zwierciny. Na ich podstawie przedstawiono przebieg zbadanych wilgotności na wykresach liniowych.



Ryc. 16. Porównanie wyników wilgotności uzyskanych na cegle ceramicznej pełnej



Ryc. 17. Porównanie wyników wilgotności uzyskanych dla bloczków silikatowych pełnych

Tabela 1. Różnice wilgotności w zależności od metody poboru próbki, wyrażone w procentach

MATERIAŁ	METODA POBORU PRÓBKII	ZAKRES WILGOTNOŚCI				
		0-3%	20-35%	35-45%	45-60%	>60%
BETON KOMÓRKOWY	WIERCENIE WOLNOOBROTOWE	1,35	2,24	2,22	3,17	5,72
	WIERCENIE SZYBKOOBROTOWE	1,32	2,14	2,28	3,24	5,00
BLOCZEK SILKATOWY	WIERCENIE WOLNOOBROTOWE	0,62	0,96	1,18	1,05	1,27
	WIERCENIE SZYBKOOBROTOWE	0,70	0,97	1,25	0,93	1,22
CEGLA CERAMICZNA	WIERCENIE WOLNOOBROTOWE	0,42	0,59	0,90	0,93	1,30
	WIERCENIE SZYBKOOBROTOWE	0,31	0,97	0,98	1,04	1,22
OPOKA WAPNIŚTA	WIERCENIE WOLNOOBROTOWE	1,17	1,14	1,34	1,44	1,43
	WIERCENIE SZYBKOOBROTOWE	1,03	1,14	1,25	1,32	1,37

Arkusze kalkulacyjne

Na podstawie przeprowadzonych badań sporządzono arkusze kalkulacyjne do wyliczania rzeczywistej wilgotności materiałów: cegły ceramicznej, bloczków siłkatowych pełnych, opoki wapniastej, autoklawizowanego betonu komórkowego oraz zaprawy cementowo-wapiennej. Po wprowadzeniu danych, arkusz kalkulacyjny oblicza wilgotność masową, a następnie do uzyskanego wyniku dodaje wyliczoną poprawkę. Poprawka to średnia różnica pomiędzy wartością wilgotności uzyskaną poprzez odkuwanie, a wartością wilgotności uzyskaną poprzez wiercenie szybkoobrotowe lub wolnoobrotowe, w zależności od zawilgocenia materiału.

Tabela 2. Fragment arkusza kalkulacyjnego do wyliczenia rzeczywistej wilgotności materiałów

NR	MASA WILGOTNA +NACZYNIEM [g]	MASA SUCHA +NACZYNIEM [g]	MASA PUSTEGO NACZYNIEM [g]	MASA BADANEJ PRÓBKII [g]	WILGOTNOŚĆ [%]	MATERIAŁ	SPOSÓB WIERCENIA	WILGOTNOŚĆ PO POPRAWCE [%]
1	65,6723	65,1929	35,5859	29,607	1,62	OPOKA WAPNIŚTA	WOLNOOBROTOWE	3,36
2	65,1941	64,9756	38,1769	26,799	0,82	OPOKA WAPNIŚTA	SZYBKOOBROTOWE	2,88
3	52,3820	51,2460	34,0613	17,185	6,61	CEGLA CERAMICZNA	WOLNOOBROTOWE	7,44
4	47,9402	47,7545	29,5583	18,196	1,02	CEGLA CERAMICZNA	SZYBKOOBROTOWE	1,26
5	57,6407	57,3212	36,1800	21,141	1,51	ZAPRAWA CEM-WAP	WOLNOOBROTOWE	3,85
6	60,5762	58,7120	38,0267	20,685	9,01	ZAPRAWA CEM-WAP	WOLNOOBROTOWE	13,76
7	52,3820	51,2460	34,0613	17,185	6,61	SILIKAT	SZYBKOOBROTOWE	8,43
8	55,2338	53,5587	31,3272	22,232	7,53	SILIKAT	WOLNOOBROTOWE	9,50
9	51,0551	48,8330	29,8467	18,986	11,70	BETON KOMÓRKOWY	SZYBKOOBROTOWE	12,66
10	51,3272	49,6515	34,0974	15,554	10,77	BETON KOMÓRKOWY	SZYBKOOBROTOWE	11,73

OPOKA WAPNIŚTA

BETON KOMÓRKOWY

CEGLA CERAMICZNA

SILIKAT

OPOKA WAPNIŚTA

ZAPRAWA CEM-WAP

ZAPRAWA CEM-WAP

ZAPRAWA CEM-WAP

SILIKAT

WOLNOOBROTOWE

SZYBKOOBROTOWE

WOLNOOBROTOWE

WOLNOOBROTOWE

SZYBKOOBROTOWE

Tabela 3. Zakresy granicznych stopni wilgotności

Wilgotność		
I	0–3%	Mury o dopuszczalnej wilgotności
II	3–5%	Mury o podwyższonej wilgotności
III	5–8%	Mury średnio wilgotne
IV	8–12%	Mury mocno wilgotne
V	>12%	Mury mokre

Wnioski

- Dla wszystkich materiałów wartość wilgotności masowej uzyskana za pomocą odkucia była wyższa niż z próbek pobranych za pomocą odwiertu. Wskazuje to na zasadność wyznaczenia poprawek korygujących wyniki.
- Wraz ze wzrostem gęstości materiału malała wartość wyznaczonej poprawki.
- Badania przeprowadzone w niniejszym artykule pokazały, że prędkość wiercenia podczas pobierania próbek do badań wilgotnościowych nie wpływa znacząco na wartość poprawki.
- W trakcie pobierania zwierciny metodą szybkoobrotową temperatura była wyższa niż w przypadku szybkoobrotowej, ale czas pobierania próbki krótszy niż przy metodzie szybkoobrotowej. To pozwoliło na wyrównanie się różnic pomiędzy tymi metodami.
- Wyznaczone poprawki w sposób istotny ułatwiają prowadzenie badań wilgotnościowych i wpływają na ich większą wiarygodność.
- Sugeruje się przeprowadzenie analogicznych badań dla innych, popularnych materiałów budowlanych.

Bibliografia

- [1] Dylla A., *Fizyka ciepła budowli w praktyce: obliczenia ciepłno-wilgotnościowe*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2015.
- [2] Hoła J., *Degradacja budynków zabytkowych wskutek nadmiernego zawilgocenia – wybrane problemy*, *Budownictwo i Architektura* 17(1) (2018) 133–148.
- [3] Kamiński K., *Wilgotność higroskopijna podstawą diagnostyki stanu zawilgocenia przegrody budowlanej*, *Materiały Budowlane* 3`2014, 20–21.
- [4] Kubik J., *Przeptyw wilgoci w materiałach budowlanych*. Politechnika Opolska, Opole 2000.
- [5] Matkowski Z., *Problemy związane z metodyką pomiarów wilgotności ścian murowanych w obiektach zabytkowych*.
- [6] PN-EN ISO 12570. *Ciepłno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie wilgotności przez suszenie w podwyższonej temperaturze*.
- [7] Praca zbiorowa, red. Klemm P., *Budownictwo ogólne. Tom 1. Materiały i wyroby budowlane*, Warszawa, Arkady, 2009.
- [8] Trochonowicz M., Szostak B., Lisiecki D., *Analiza porównawcza badań wilgotnościowych metodą chemiczną w stosunku do badań grawimetrycznych wybranych materiałów budowlanych*, *Budownictwo i Architektura* 15(4) (2016) 163–171.
- [9] Trochonowicz M., *Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych*, *Budownictwo i Architektura* 7/2010.
- [10] Wójcik R., *Pomiary wilgotności przegród budowlanych*, *Materiały Budowlane* 8/2002.
- [11] Wyrwał J., Świrski J., *Problemy zawilgocenia przegród budowlanych*, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, 1998.
- [12] PN-EN 12664 „Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego”.

Impact of sampling technique on the reliability of gravimetric moisture test results

Abstract: Humidity is one of the basic physical characteristics of a material. Laboratory tests to determine the percentage water content of a material are relatively simple and do not require sophisticated testing equipment. The problem, however, is the reliability of partition humidity tests. During this type of testing, it is necessary to take samples from the building and transport them to the laboratory. During both of these activities, there is a loss in the mass of water contained in the sample. Changes in the humidity of the samples, associated with the need to transport them, can be minimised by using airtight containers and lowering the temperature. A much more difficult issue to address is the elimination of losses in the mass of water contained in the samples during sampling. Laboratory moisture test manuals recommend sampling by forging methods or by so-called tube drifters. Such sampling methods are intended to exclude water mass losses. In many cases, it is necessary to take a sample from quite a considerable depth or the tests concern objects of high historical value. This precludes the sampling methods recommended by the instructions. For this reason, the most commonly used sampling method, in existing facilities, is to drill a borehole and testing the borehole. During the drilling process, overheating of the borehole occurs and evaporation of water. In scientific literature and technical studies of all kinds, it is quite often suggested to take this phenomenon into account. Unfortunately, there is no information on the value of the corrections to be made. The aim of this study is to demonstrate the difference in bulk humidity measured by the laboratory method of the same samples with different sampling techniques. In addition, correction values have been determined for specific humidity ranges.

Keywords: humidity test, gravimetric method, direct method, bulk humidity, clay brick, cellular concrete, silicate block, limestone block
