

Iceland   
Liechtenstein  
Norway grants

# BUDOWNICZTWO NATURALNE

KATEGORIE JAKOŚCIOWE DLA  
SUROWCÓW NATURALNYCH ORAZ  
PARAMETRY WYTRZYMAŁOŚCIOWE  
DLA DREWNA KONSTRUKCYJNEGO



**IOŚ-PIB**  
Instytut Ochrony Środowiska  
Państwowy Instytut Badawczy



Ogólnopolskie  
Stowarzyszenie  
Budownictwa  
Naturalnego

Autorzy:

Piotr Kosiński

Lech Rybienik

Wojciech Piątkiewicz

Realizacja badań:

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wojciech Piątkiewicz na Uniwersytecie

Współpraca oraz koncepcja zakresu badawczego:

Cezary Czemplik

Koordinacja:

Marta Krawcewicz

Skład i łamanie:

Studio KOZA Kinga Tomaszewska Smolarczuk

Projekt „Dekarbonizacja procesów budowlanych – wprowadzenie materiałów naturalnych o zerowym śladzie węglowym, w tym drewna, do gospodarki obiegu cyrkularnego w budownictwie” jest realizowany przez Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy oraz Ogólnopolskie Stowarzyszenie Budownictwa Naturalnego i finansowany z funduszy Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego 2014-2021 w ramach programu „Środowisko, Energia i Zmiany Klimatu”. Fundusze Europejskiego Obszaru Gospodarczego reprezentują wkład Islandii, Liechtensteinu i Norwegii w tworzenie Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

[www.eeagrants.pl](http://www.eeagrants.pl)

Warszawa, 2024

Iceland   
Liechtenstein  
Norway grants

# BUDDOWNICTWO NATURALNE

KATEGORIE JAKOŚCIOWE DLA  
SUROWCÓW NATURALNYCH ORAZ  
PARAMETRY WYTRZYMAŁOŚCIOWE  
DLA DREWNA KONSTRUKCYJNEGO



**IOŚ-PIB**  
Instytut Ochrony Środowiska  
Państwowy Instytut Badawczy



Ogólnopolskie  
Stowarzyszenie  
Budownictwa  
Naturalnego

**BN**

# Spis Treści

<b>I. Wstęp</b> . . . . .	<b>6</b>
<b>II. Analiza istniejących norm dotyczących jakości surowców naturalnych oraz przegląd dostępnych na krajowym rynku surowców naturalnych</b>	<b>8</b>
<b>III. Przegląd wiedzy o konoplicie</b> . . . . .	<b>.29</b>
<b>IV. Parametry wytrzymałościowe dla drewna konstrukcyjnego</b> . . . . .	<b>.45</b>
<b>V. Załączniki: raporty z badań jakościowych</b> . . . . .	<b>49</b>
Słoma . . . . .	50
Konoplit . . . . .	57
Beton konopny . . . . .	64
Glina lekka . . . . .	.71
Płyta gliniana. . . . .	76



**Wstęp**

Materiały organiczne przez tysiące lat znajdowały zastosowanie w procesie wznoszenia budynków. Ściany, dachy o konstrukcji drewnianej, czy ich pokrycie wykonane, np. z trzciny były typowymi rozwiązaniami cechującymi budownictwo tradycyjne. Słoma zbożowa znajdowała zastosowanie do izolacji cieplnej stropów, a mech do uszczelniania ścian. W powszechnym użyciu była polepa będąca mieszaniną gliny z sieczką, czy np. paździerzami. Budownictwo z surowców naturalnych cechowało i to, że przeważnie wykorzystane były materiały dostępne lokalnie.

Właściwości materiałów naturalnych zależą od wielu czynników, m.in. od sposobu pozyskania i składowania, a w przypadku materiałów pochodzenia roślinnego zależą od gatunków, sposobu uprawy czy długości sezonu wegetacyjnego. Te cechy wpłynęły na poszukiwanie innych rozwiązań materiałowych, których właściwości będą bardziej powtarzalne. Powszechna mechanizacja i uprzemysłowienie produkcji budowlanej sprawiły, że materiały naturalne w dużej mierze zostały wyparte przez materiały syntetyczne o masowej produkcji.

W obecnym systemie norm i standardów niewiele jest odwołań do materiałów pochodzenia naturalnego. Co więcej, surowce naturalne (np. piasek lub kruszywo) są stosowane przede wszystkim jako składnik do produkcji materiałów zaawansowanych, np. betonów lub materiałów murowych.

Odejście od materiałów organicznych na rzecz syntetycznych zmieniło całkowicie standard budownictwa. Współczesne budynki wznoszone są z materiałów o wysokiej wytrzymałości, co

np. umożliwia wykonywanie wielokondygnacyjnych konstrukcji o imponujących rozmiarach. Jednakże, materiały te są pozbawione naturalnych zdolności do akumulacji ciepła i wilgoci, przez co koniecznym staje się energochłonne klimatyzowanie wnętrza budynków w celu zapewnienia dogodnych warunków bytowych i funkcjonalnych.

Materiały organiczne dzięki naturalnej budowie włókien o dużej porowatości i otwartych kapilarach mają zdolność do pochłaniania i uwalniania wilgoci do otoczenia. Mogą więc stanowić alternatywę dla rozwiązań syntetycznych jako naturalne bufor wilgoci lub ciepła (z uwagi na dużą gęstość). Materiały organiczne mają więcej pozytywnych cech, które wyróżniają je na tle innych surowców. Niniejsze opracowanie ma wytyczyć kierunek i dokonać przeglądu dotychczasowych zastosowań surowców organicznych.

W opracowaniu zawarto analizę istniejących norm dotyczących jakości surowców naturalnych. Omówiono proces wprowadzania tych surowców na rynek. Dokonano przeglądu dostępnych na krajowym rynku surowców naturalnych. Mając na uwadze, że materiały naturalne mogą znaleźć zastosowanie do produkcji mieszanek, szczegółowo opisano konoplitek, który produkowany jest z paździerzy konopnych, spoiwa i wody. W opracowaniu ujęto także wyniki badań laboratoryjnych właściwości cieplno-wilgotnościowych konoplitek, paneli słomianych, komponentu słomiano-glinianego, a także płyt prefabrykowanych z gliny, które mogą stanowić ciekawą alternatywę dla popularnych na rynku płyt gipsowych.



**Analiza istniejących norm  
dotyczących jakości surowców  
naturalnych oraz przegląd  
dostępnych na krajowym rynku  
surowców naturalnych**

# **Analiza istniejących norm dotyczących jakości surowców naturalnych oraz przegląd dostępnych na krajowym rynku surowców naturalnych w tym między innymi:**

## **1. Akty prawne którym podlegają wyroby budowlane**

### **1.1 Podstawowe wymagania**

Każdy produkt który ma zostać wprowadzony na rynek jako materiał budowlany podlega prawu wspólnotowemu lub krajowemu.

Podstawowe akty prawne dotyczące materiałów budowlanych obowiązujące w Polsce są następujące:

1. REGULATION (EU) No 305/2011 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC (ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) NR 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG)
2. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych Dz.U. 2004 nr 92 poz. 881 z późniejszymi zmianami.
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym Dz.U. 2016 poz. 1966 z późniejszymi zmianami.
4. Ustawa z dnia 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów Dz.U. 2003 nr 229 poz. 2275 z późniejszymi zmianami.
5. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane. Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414 z późniejszymi zmianami.
6. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami.



Z aktów prawnych wynikają następujące wymagania:

1. Wyrób budowlany może zostać wprowadzony do obrotu, jeżeli nadaje się do stosowania przy wykonywaniu robót budowlanych, w zakresie odpowiadającym jego właściwościom użytkowym i przeznaczeniu, tj. posiada właściwości użytkowe umożliwiające zaprojektowanie i wykonanie obiektów budowlanych, w których ma być użytkowany stale, w celu spełnienia podstawowych wymagań (akt 2).
2. Jeżeli wyrób budowlany jest objęty normą zharmonizowaną lub jest zgodny z wydaną dla niego Europejską Oceną Techniczną, producent sporządza deklarację właściwości użytkowych w chwili wprowadzenia wyrobu do obrotu. Sporządzając deklarację właściwości użytkowych, producent przejmuje odpowiedzialność za zgodność wyrobu budowlanego z deklarowanymi właściwościami użytkowymi (akt 1).
3. Jeżeli wyrób nie jest objęty normą zharmonizowaną, wówczas oceny jego właściwości można dokonać w oparciu o system krajowy – przeznaczony na rynek krajowy. Wyrób budowlany nieobjęty normą zharmonizowaną, dla którego nie została wydana Europejska Ocena Techniczna, może być wprowadzony do obrotu, jeżeli został oznaczony znakiem budowlanym (rysunek 1).



Rys. 1 Znak budowlany (źródło: <https://www.ce-polska.pl/znak-budowlany-b.html>)

## 1.2 Deklarowanie właściwości użytkowych

Zasady deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposób znakowania ich znakiem budowlanym opisuje (akt 3). Dla producentów materiałów pochodzenia naturalnego, którzy chcieliby je sprzedawać jako wyroby budowlane, szczególnie istotne mogą być zapisy paragrafu 3, producent deklaruje właściwości użytkowe wyrobu budowlanego, wyrażając je jako poziom, klasę lub w sposób opisowy, na podstawie oceny i weryfikacji stałości tych właściwości użytkowych, przeprowadzonej zgodnie z krajowym systemem właściwym dla tego wyrobu i jego zamierzonego zastosowania.

Rozporządzenie podaje pięć krajowych systemów oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych: 1+, 1, 2+, 3 oraz 4. Dla każdego systemu podane są wymagania. Krajowe systemy wymienione w ust. 2–6 określają działania producenta związane z oceną i weryfikacją stałości właściwości użytkowych wyrobu budowlanego, a także zakres tej oceny i weryfikacji, przeprowadzanej na zlecenie producenta przez jednostkę certyfikującą lub laboratorium badawcze akredytowane zgodnie z ustawą z dnia 13 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku (Dz. U. poz. 542, 1228 i 1579) niebędące akredytowanymi jednostkami własnymi (paragraf 4.1). W tabeli 1 podano wymagania dotyczące krajowego systemu oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych.

Działania producenta oraz jednostki certyfikującej lub laboratorium badawczego	Krajowy system oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych				
	1+	1	2+	3	4
<b>działania producenta</b>					
Działania producenta związane z oceną i weryfikacją obejmują określenie typu wyrobu budowlanego	+	+	+	+	+
Producent prowadzi zakładową kontrolę produkcji	+	+	+	+	+
Producent prowadzi badania próbek pobranych przez siebie w zakładzie produkcyjnym zgodnie z ustalonym planem badań	+	+	+		
Producent prowadzi ocenę właściwości użytkowych wyrobu na podstawie badań próbek pobranych przez siebie, obliczeń, tabelarycznych wartości lub opisowej dokumentacji tego wyrobu			+		+
<b>ocena i weryfikacja przeprowadzana przez jednostkę certyfikującą</b>					
ocena właściwości użytkowych wyrobu budowlanego na podstawie badań próbek pobranych przez jednostkę certyfikującą, obliczeń, tabelarycznych wartości lub opisowej dokumentacji tego wyrobu	+	+			
przeprowadzenie wstępnej inspekcji zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji	+	+	+		
wydanie krajowego certyfikatu stałości właściwości użytkowych	+	+	+		
kontynuacja nadzoru, oceny i ewaluacji zakładowej kontroli produkcji	+	+	+		
przeprowadzanie kontrolnych badań próbek pobranych przez jednostkę certyfikującą w zakładzie produkcyjnym lub w obiektach magazynowych producenta	+				
<b>ocena i weryfikacja przeprowadzana przez laboratorium badawcze</b>					
ocena i weryfikacja dokonywana przez laboratorium badawcze, obejmuje ocenę właściwości użytkowych wyrobu budowlanego na podstawie badań próbek pobranych przez producenta, obliczeń, tabelarycznych wartości lub opisowej dokumentacji tego wyrobu				+	

Tabela 1 Działania producenta oraz jednostki certyfikującej lub laboratorium badawczego w zależności od krajowego systemu oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych (na podstawie Dz.U. 2016 poz. 1966 z późniejszymi zmianami)

Rozporządzenie podaje dalej, że producent przy określaniu typu wyrobu budowlanego i ocenie jego właściwości użytkowych może zastąpić badania lub obliczenia, wymagane do oceny właściwości użytkowych, poprzez wykazanie w dokumentacji technicznej, o której mowa w art. 10a ust. 1 ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych, że:

- zasadnicze charakterystyki wskazane w zastosowanej specyfikacji technicznej i odnoszące się do zamierzonego zastosowania osiągają określony poziom lub klasę właściwości użytkowych bez konieczności badań lub obliczeń, zgodnie z warunkami określonymi w zastosowanej krajowej specyfikacji technicznej lub ustaleniach Komisji Europejskiej w tym zakresie;
- wyrób budowlany objęty Polską Normą należy do tego samego typu wyrobu, dla którego ocena właściwości użytkowych została dokonana przez innego producenta, który wyraził zgodę na wykorzystanie wyników badań przeprowadzonych w ramach tej oceny oraz ponosi odpowiedzialność za ich prawidłowość.

Ponadto producent będący mikroprzedsiębiorcą w rozumieniu przepisów ustawy z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej (Dz. U. z 2016 r. poz. 1829 i 1948), stosując krajowy system 3 lub 4, może zastąpić wskazane w zastosowanej Polskiej Normie metody badań innymi metodami, jeżeli wykaże równoważność tych metod w dokumentacji technicznej.

Szczegółowe wymagania dotyczące nadawania numerów przy znakowaniu znakiem budowlanym

podane są w paragrafach 10 i 11 rozporządzenia. Istotne jest jednak podanie informacji o umiejscowieniu znaku:

- producent znakuje wyrób budowlany znakiem budowlanym przed wprowadzeniem go do obrotu lub udostępnieniem na rynku krajowym.
- znak budowlany umieszcza się w sposób widoczny, czytelny i trwały, bezpośrednio na wyrobie budowlanym albo na etykiecie przymocowanej do tego wyrobu.
- jeżeli umieszczenie znaku budowlanego w sposób określony powyżej nie jest możliwe z uwagi na wielkość lub charakter wyrobu budowlanego, znak budowlany umieszcza się na opakowaniu jednostkowym lub opakowaniu zbiorczym wyrobu budowlanego albo na dokumentach towarzyszących wyrobowi.

Załącznik A rozporządzenia szczegółowo podaje wymagania dotyczące klasy reakcji na ogień wyrobów budowlanych w zależności od ich zastosowania. W tabeli 2 podano te, które dotyczą produktów będących w szczególnym kręgu zainteresowań budownictwa naturalnego

Grupa wyrobów budowlanych	Zamierzone zastosowanie wyrobów budowlanych	Klasy reakcji na ogień	Krajowy system oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych
<b>Materiały termoizolacyjne. Złożone zestawy/systemy izolacyjne</b>			
Wyroby do izolacji cieplnej (wyroby fabryczne i wyroby do formowania na placu budowy)	do zastosowań podlegających wymaganiom dotyczącym reakcji na ogień	A1*, A2*, B*, C*	1
		A1**, A2**, B*, C**, D, E	3
		(A1-E)**, F	4
	do pozostałych zastosowań	-	3
Złożone zestawy/systemy izolacji cieplnej z wyprawami tynkarskimi lub innymi rodzajami warstwy elewacyjnej	do zastosowań na ścianach zewnętrznych podlegających wymaganiom dotyczącym bezpieczeństwa pożarowego	A1*, A2*, B*, C*	1
		A1**, A2**, B*, C**, D, E	2+
	do zastosowań na ścianach zewnętrznych niepodlegających wymaganiom dotyczącym bezpieczeństwa pożarowego	-	2+
Prefabrykowane elementy ociepleń z gotową fakturą	do zastosowań podlegających wymaganiom dotyczącym reakcji na ogień	A1*, A2*, B*, C*	1
		A1**, A2**, B**, C**, D, E	3
		(A1-E)***, F	4
	do pozostałych zastosowań	-	3
<b>Konstrukcyjne wyroby drewniane i wyroby pomocnicze</b>			
Wyroby konstrukcyjne z drewna litego	do zastosowań konstrukcyjnych w budynkach i budowlach	A1*, A2*, B*, C*	1
		A1**, A2**, B**, C**, D, E, (A1-E)***, F	2+
Wyroby konstrukcyjne z drewna klejonego warstwowo	do zastosowań konstrukcyjnych w budynkach i budowlach	-	1
<b>Płyty i inne wyroby drewnopochodne</b>			
Płyty drewnopochodne surowe, fornirowane lub powlekane	do zastosowań konstrukcyjnych	A1*, A2*, B*, C*	1
		A1**, A2**, B**, C**, D, E, (A1-E)***, F	2+

		A1* , A2* , B* , C*	1
	do zastosowań niekonstrukcyjnych	A1** , A2** , B** , C** , D, E	3
		(A1 - E)***, F	4
<b>Lekkie kompozytowe drewnopochodne belki, słupy i elementy belkowo-płytowe</b>	do zastosowań konstrukcyjnych	-	1
<b>Prefabrykowane płyty warstwowo-żebrowe z materiałów drewnopochodnych Lekkie, samonośne płyty zespolone</b>	do zastosowań konstrukcyjnych	-	1
		A1* , A2* , B* , C* A1* <sub>fi</sub> , A2* <sub>fi</sub> , B* <sub>fi</sub> , C* <sub>fi</sub>	1
	do zastosowań podlegających wymaganiom dotyczącym reakcji na ogień	A1** , A2** , B** , C** , D, E A1** <sub>fi</sub> , A2** <sub>fi</sub> , B** <sub>fi</sub> , C** <sub>fi</sub> , D <sub>fi</sub> , E <sub>fi</sub>	3
		(A1 - E)***, F (A1 <sub>fi</sub> - E <sub>fi</sub> )***, F <sub>fi</sub>	4
	do zastosowań podlegających wymaganiom dotyczącym odporności na ogień zewnętrzny	B <sub>ROOF</sub> (t1)	3
		B <sub>ROOF</sub>	4
	do pozostałych zastosowań	-	3
<b>Wyroby do wykończenia ścian wewnętrznych, zewnętrznych i sufitów</b>			
<b>Płyty</b>		A1* , A2* , B* , C*	1
	do zastosowań podlegających wymaganiom dotyczącym reakcji na ogień	A1** , A2** , B** , C** , D, E	3
		(A1 - E)***, F	4
	do pozostałych zastosowań	-	3
<b>Płytki Pokrycia w formie rolowej Wykładziny Oblicówka (siding)</b>		A1* , A2* , B* , C*	1
	do zastosowań podlegających wymaganiom dotyczącym reakcji na ogień	A1** , A2** , B** , C** , D, E	3
		(A1 - E)***, F	4
	do zastosowań podlegających wymaganiom dotyczącym bezpieczeństwa użytkowania i/lub wymaganiom dotyczącym substancji niebezpiecznych	-	3
	do pozostałych zastosowań	-	4

Tabela 2 Wymagania dot. klasy reakcji na ogień wyrobów budowlanych w zależności od ich zastosowania (na podstawie Dz.U. 2016 poz. 1966 z późniejszymi zmianami)

\* Wyroby lub materiały, które na określonym jednoznacznie zidentyfikowanym etapie procesu produkcyjnego podlegają modyfikacji, z założenia poprawiającej klasyfikację w zakresie reakcji na ogień (np. przez dodanie środków uniepalniających lub zmniejszenie zawartości części organicznych).

\*\* Wyroby lub materiały, które na określonym jednoznacznie zidentyfikowanym etapie procesu produkcyjnego nie podlegają modyfikacji, z założenia poprawiającej klasyfikację w zakresie reakcji na ogień (np. przez dodanie środków uniepalniających lub zmniejszenie zawartości części organicznych).

\*\*\* Wyroby lub materiały, które nie wymagają badań ze względu na reakcję na ogień (zgodnie z odpowiednimi decyzjami i rozporządzeniami delegowanymi Komisji).

A1, A2, B, C, D, E, F – klasy reakcji na ogień wyrobów budowlanych, z wyłączeniem posadzek i kabli, zgodnie z rozporządzeniem delegowanym Komisji (UE) 2016/364 z dnia 1 lipca 2015 r. w sprawie klasyfikacji reakcji na ogień wyrobów budowlanych na podstawie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 (Dz. U. UE L 68 z 15.03.2016, str. 4).

A1<sub>fi</sub>, A2<sub>fi</sub>, B<sub>fi</sub>, C<sub>fi</sub>, D<sub>fi</sub>, E<sub>fi</sub>, F<sub>fi</sub> – klasy reakcji na ogień wyrobów budowlanych na posadzki zgodnie z rozporządzeniem delegowanym Komisji (UE) 2016/364 z dnia 1 lipca 2015 r. w sprawie klasyfikacji reakcji na ogień wyrobów budowlanych na podstawie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011.

Aca, B1ca, B2ca, Cca, Dca, Eca, Fca – klasy reakcji na ogień wyrobów budowlanych dla kabli zgodnie z rozporządzeniem delegowanym Komisji (UE) 2016/364 z dnia 1 lipca 2015 r. w sprawie klasyfikacji reakcji na ogień wyrobów budowlanych na podstawie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011

### **1.3 Brak deklaracji właściwości - wyjątki**

W przypadku braku przepisów unijnych lub krajowych dotyczących deklaracji właściwości wyrobów producent może odstąpić od sporządzenia deklaracji właściwości użytkowych przy wprowadzaniu do obrotu wyrobu budowlanego objętego normą zharmonizowaną, jeżeli:

- wyrób budowlany jest wytwarzany indywidualnie lub w procesie nieseryjnym na zamówienie i wbudowany w jednym obiekcie budowlanym, przez producenta odpowiedzialnego za bezpieczne włączenie wyrobu do obiektu budowlanego,
- wyrób budowlany jest wytwarzany na placu budowy w celu wbudowania go do odpowiednich obiektów budowlanych, zgodnie z obowiązującymi przepisami krajowymi,
- wyrób budowlany jest wytwarzany w sposób tradycyjny lub w sposób odpowiadający ochronie dziedzictwa kulturowego oraz w procesie nieprzemysłowym służącym do renowacji obiektów budowlanych.

Jeżeli nie ma krajowego systemu oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wyrobów budowlanych, wówczas wyrób podlega ustawie o ogólnym bezpieczeństwie wyrobów i podmiot musi wykazać, że wyrób jest bezpieczny (akt 4).

Przy wykonywaniu robót budowlanych należy stosować produkty dopuszczone do obrotu i stosowania w budownictwie. Należy to do obowiązków kierownika budowy (akt 5).

### **1.4 Indywidualne stosowanie wyrobów**

Ustawa 2 o wyrobach budowlanych daje możliwość dopuszczenia do indywidualnego stosowania wyrobów wykonanych według indywidualnej dokumentacji technicznej, sporządzonej przez projektanta obiektu lub z nim uzgodnionej, dla której producent wydał oświadczenie, że wyrób budowlany jest zgodny z tą dokumentacją i obowiązującym prawem. W praktyce oznacza to konieczność przygotowania indywidualnej dokumentacji technicznej dla każdego zastosowania. Jednakże wykazanie właściwości ogniotrwałych materiałów zawsze stanowi problem.

### **1.5 Dodatkowe obostrzenia wynikające z Rozporządzenia w sprawie Warunków Technicznych jakim powinny odpowiadać budynki oraz ich usytuowanie**

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki oraz ich usytuowanie (akt 6) nakłada następujące wymagania bezpieczeństwa pożarowego, które mogą stanowić nieosiągalne wyzwanie dla wielu materiałów organicznych:

- § 216 ust. 8 W budynku na wysokości większej niż 25 m od poziomu gruntu okładzina elewacji i jej mechaniczne mocowanie, a także izolacja cieplna ściany zewnętrznej powinny być wykonane z materiałów niepalnych
- § 219. 1. Pokrycie dachowe o powierzchni większej niż 1000 m<sup>2</sup> nie powinno rozprzestrzeniać ognia, a palna izolacja termiczna pokrycia powinna być oddzielona od wnętrza budynku przegrodą o klasie odporności ogniowej nie niższej niż R E 15
- § 267. 1. Przewody wentylacyjne powinny być wykonane z materiałów niepalnych, a palna izolacja termiczna i akustyczna oraz inne palne okładziny przewodów wentylacyjnych mogą być

stosowane wyłącznie na ich zewnętrznej powierzchni w sposób uniemożliwiający rozprzestrzenianie się ognia.

Na podstawie przedstawionych powyżej wymagań widoczne jest, że wyroby budowlane przede wszystkim potrzebują określenia klas reakcji na ogień. Większość materiałów organicznych, z których możliwe byłoby wykonanie elementów budowlanych może ulec łatwemu zapalaniu, stąd ochrona przed ogniem jest kluczowym czynnikiem umożliwiającym stosowanie takich materiałów.

## **1.6 Normy zharmonizowane dla wyrobów izolacyjnych pochodzenia naturalnego**

Grupy wyrobów izolacyjnych pochodzenia naturalnego objętych normami:

1. EN 13168:2012+A1:2015 Wyroby do izolacji cieplnej budynków. Produkty z wełny drzewnej (WW) produkowane fabrycznie. Specyfikacja.
2. EN 13169:2012+A1:2015 Wyroby do izolacji cieplnej budynków. Produkty wykonane fabrycznie z ekspandowanej płyty perlitowej (EPB). Specyfikacja.
3. EN 13170:2012+A1:2015 Wyroby do izolacji cieplnej budynków – Wyroby z korka ekspandowanego (ICB) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.
4. EN 13171:2012+A1:2015 Wyroby do izolacji cieplnej budynków – Wyroby z włókna drzewnego (WF) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.
5. EN 14316-1:2004 Wyroby do izolacji cieplnej budynków. Izolacja termiczna wykonywana na miejscu z produktów z ekspandowanego perlitu (EP). Specyfikacja produktów związanych i sypkich przed instalacją.
6. EN 14317-1:2004 Wyroby do izolacji cieplnej budynków. Izolacja termiczna wykonywana na miejscu z produktów złuszczonego wermikulitu (EV). Specyfikacja produktów związanych i sypkich przed instalacją.
7. EN 15101-1+A1:2019-06 Wyroby do izolacji cieplnej budynków – Wyroby z celulozy luzem formowane na miejscu (LFCI) – Część 1: Specyfikacja wyrobów przed instalacją.
8. EN 15101-2:2013-12 Wyroby do izolacji cieplnej budynków – Wyroby z celulozy sypkiej formowane na miejscu (LFCI) – Część 2: Specyfikacja zainstalowanych wyrobów.

Norma dla wyrobów celulozowych (15101) daje możliwość stosowania innych materiałów o właściwościach podobnych do celulozy jako izolacji sypkich, ale wymaga również certyfikacji.

W normach dotyczących poszczególnych grup produktów wyszczególniono wymagania ogólne dotyczące przygotowania próbek i wykonania testów na określenie ich:

- oporu cieplnego (EN 12667, EN 12939),
- osiadania (-),
- reakcji na ogień (EN 13501-1),
- trwałości (-),
- nasiąkliwości (EN 1609),
- paroprzepuszczalności (EN 12086),
- korozyjności (-),
- obecności substancji niebezpiecznych (-),
- odporności na rozwój grzybów,
- przepuszczalności powietrznej (EN 29053),
- absorpcji dźwięków (EN ISO 354).

## 2. Możliwości zastosowania surowców pochodzenia naturalnego w budownictwie

### 2.1 Izolacje cieplne

Spośród możliwych zastosowań materiałów pochodzenia naturalnego, szczególne miejsce zajmuje wykorzystanie ich jako izolacji cieplnych. Zgodnie z nieobowiązującą już normą PN-89/B-04620 Materiały i wyroby termoizolacyjne materiał termoizolacyjny to materiał o współczynniku przewodzenia ciepła w temperaturze 20°C nie większym niż  $\lambda = 0,175$  (W/(m·K)). Popularne na rynku budowlanym materiały termoizolacyjne osiągają wartości współczynnika przewodzenia ciepła niższe, najlepsze rezultaty od 0,030 (W/(m·K)) dla EPS i wełny mineralnej, 0,022 (W/(m·K)) dla poliuretanów oraz poliizocyanuretanów.

W przypadku paneli próżniowych VIP możliwe jest osiągnięcie współczynników przewodzenia ciepła na poziomie nawet 0,004 (W/(m·K)). Należy jednak zaznaczyć, że produkcja ww. materiałów pochłania duże ilości energii i emisyjnych paliw kopalnych, a odpady stanowią duży problem. Alternatywą może być stosowanie materiałów pochodzenia naturalnego, których obróbka pochłania mniejsze ilości energii (niższa emisja), mają zdolność do wiązania węgla w średnim lub długim okresie, a dodatkowo odpady mogą zostać np. skompostowane. Dodatkowo posiadają zazwyczaj większą pojemność cieplną i wilgotnościową, co realnie zmniejsza straty ciepła i reguluje temperaturę i poziom wilgotności.

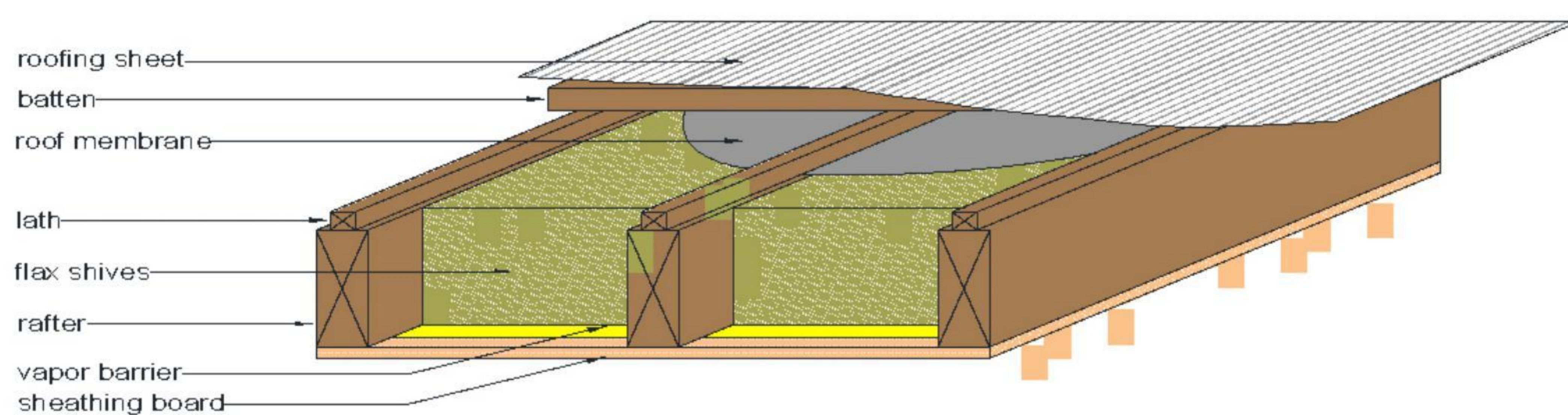
Analizując możliwość zastosowania materiałów naturalnych jako izolacji cieplnych należy rozpatrzyć dwie możliwości ich wykorzystania, w formie zasypowej (wdmuchiwanej) lub elementów uformowanych (mat, płyt, bloczków, prefabrykatów).

#### 2.1.1 Izolacje cieplne w formie zasypowej

Stosowanie materiałów w formie zasypowej wiąże się z najmniej emisyjnym procesem przygotowania izolacji. Dużą zaletą jest też możliwość zastosowania w trudnodostępnych miejscach, np. docieplanie poddaszy. W przypadku paździerzy lnianych lub konopnych, czy włókien ze słomy obróbka polega praktycznie na wysuszeniu, skruszeniu i rozdrobnieniu większych części. Pozyskanie włókien tych roślin wiąże się już z koniecznością uruchomienia procesów obróbki. Bardziej energochłonne są procesy pozyskiwania izolacji celulozowych ze zmielonego papieru lub wełny drzewnej z odpadów drzewnych. Niemniej są to nadal procesy mniej emisyjne niż produkcja popularnych izolacji cieplnych w budownictwie; dodatkowo zazwyczaj wykorzystują odpady produkcyjne w procesach produkcji

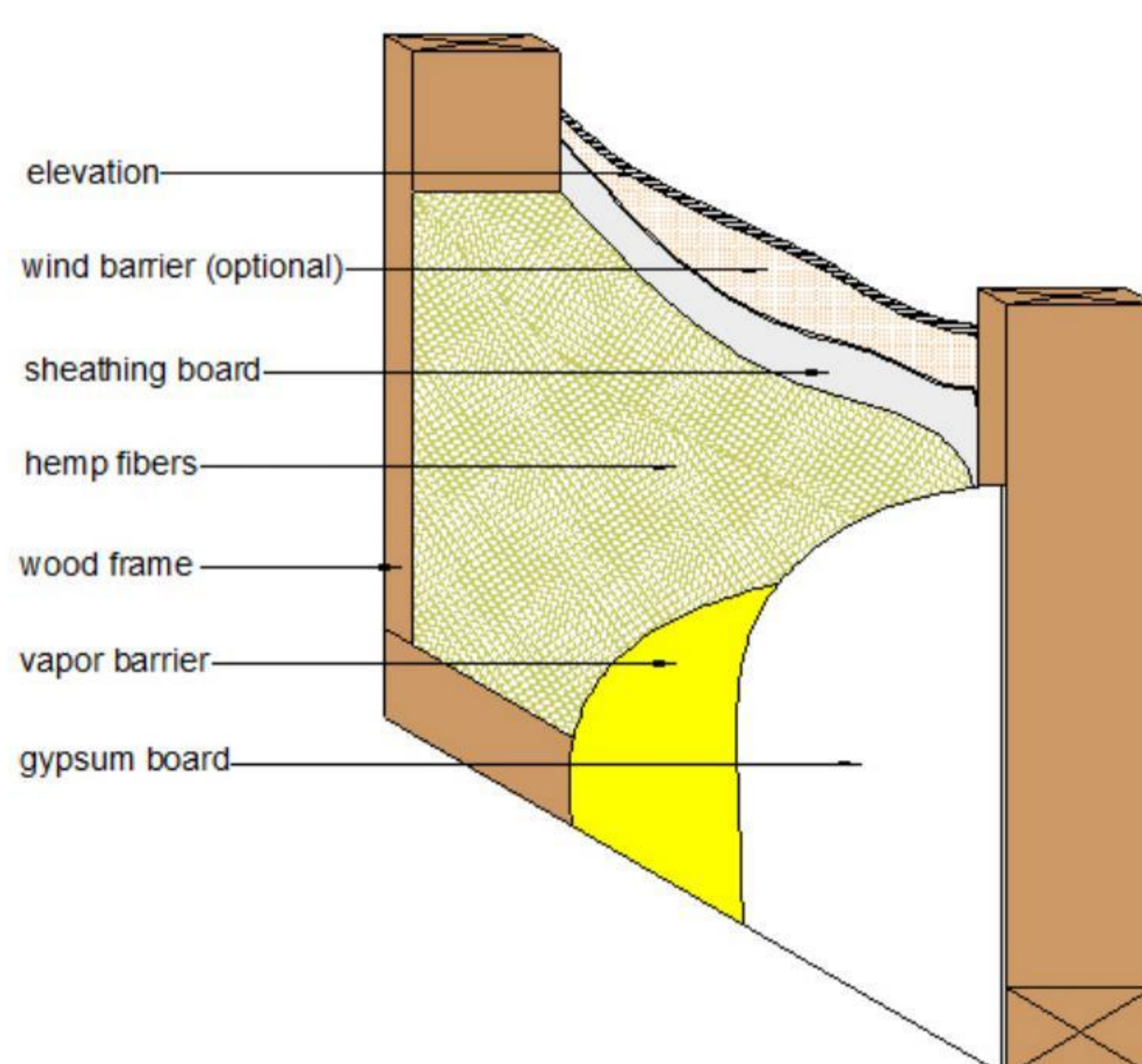
Przykład 1. Izolacja z paździerzy lnianych (konopnych, słomianych)

W zależności od przegrody która ma zostać izolowana mogą być jednak potrzebne prace przygotowawcze, np. w postaci montażu płyt, które zabezpieczą materiał przed osunięciem. Na rysunku 2 pokazano możliwe zastosowanie paździerzy lnianych jako izolacji cieplnej stropodachu. Przed ułożeniem izolacji cieplnej konieczny jest montaż płyt spodnich np. z półtwardych płyt drewnopochodnych lub z roślin jednorocznych.



Rys. 2 Przekrój przez stropodach izolowany luznymi paździerzami lnianymi (Brzyski i inni 2021)

Innym możliwym zastosowaniem materiałów zasypowych jest izolacja ścian szkieletowych. Na rysunku 3 pokazano możliwe zastosowanie włókien konopnych jako termoizolacji. W tym przypadku konieczny jest montaż płyt po obu stronach przegrody.

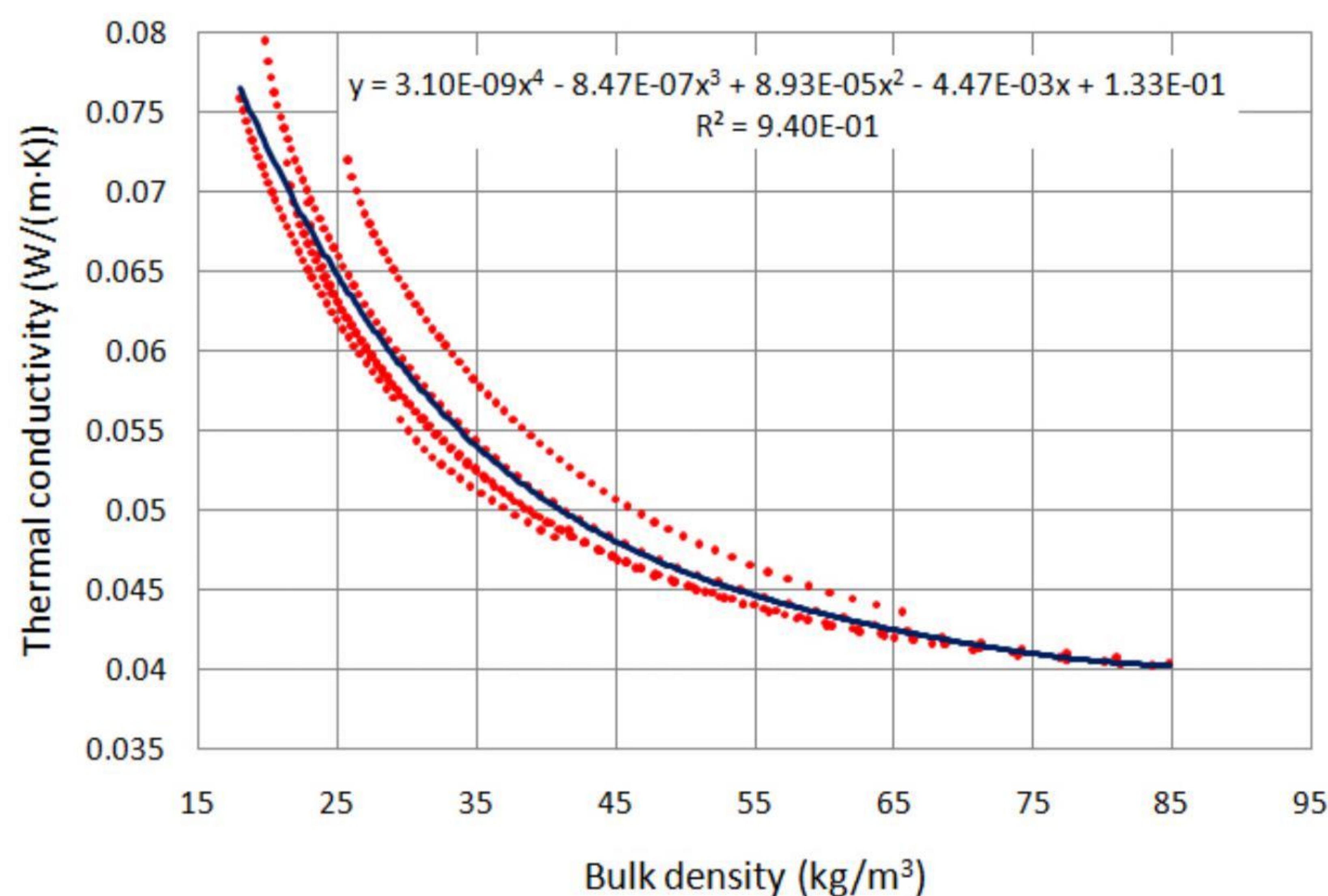


Rys. 3 Ściana szkieletowa wypełniona luznymi włóknami konopnymi (Kosiński i inni 2018)

Współczynnik przewodzenia ciepła materiałów zasypowych pochodzenia organicznego zależy od wielkości drobin, ich gęstości oraz od wilgotności. Materiały organiczne są wysoko higroskopijne, przez co operowanie współczynnikiem przewodzenia ciepła w stanie suchym nie zawsze znajduje uzasadnienie w eksploatowanych przegrodach. Na rysunkach 4-8 pokazano laboratoryjnie wyznaczone wartości współczynników przewodzenia ciepła wybranych materiałów organicznych. Prezentowane wartości dotyczą materiałów suchych, znając krzywe sorpcji można przeliczyć wartości na dotyczące stanu odpowiadającego warunkom eksploatacyjnym.

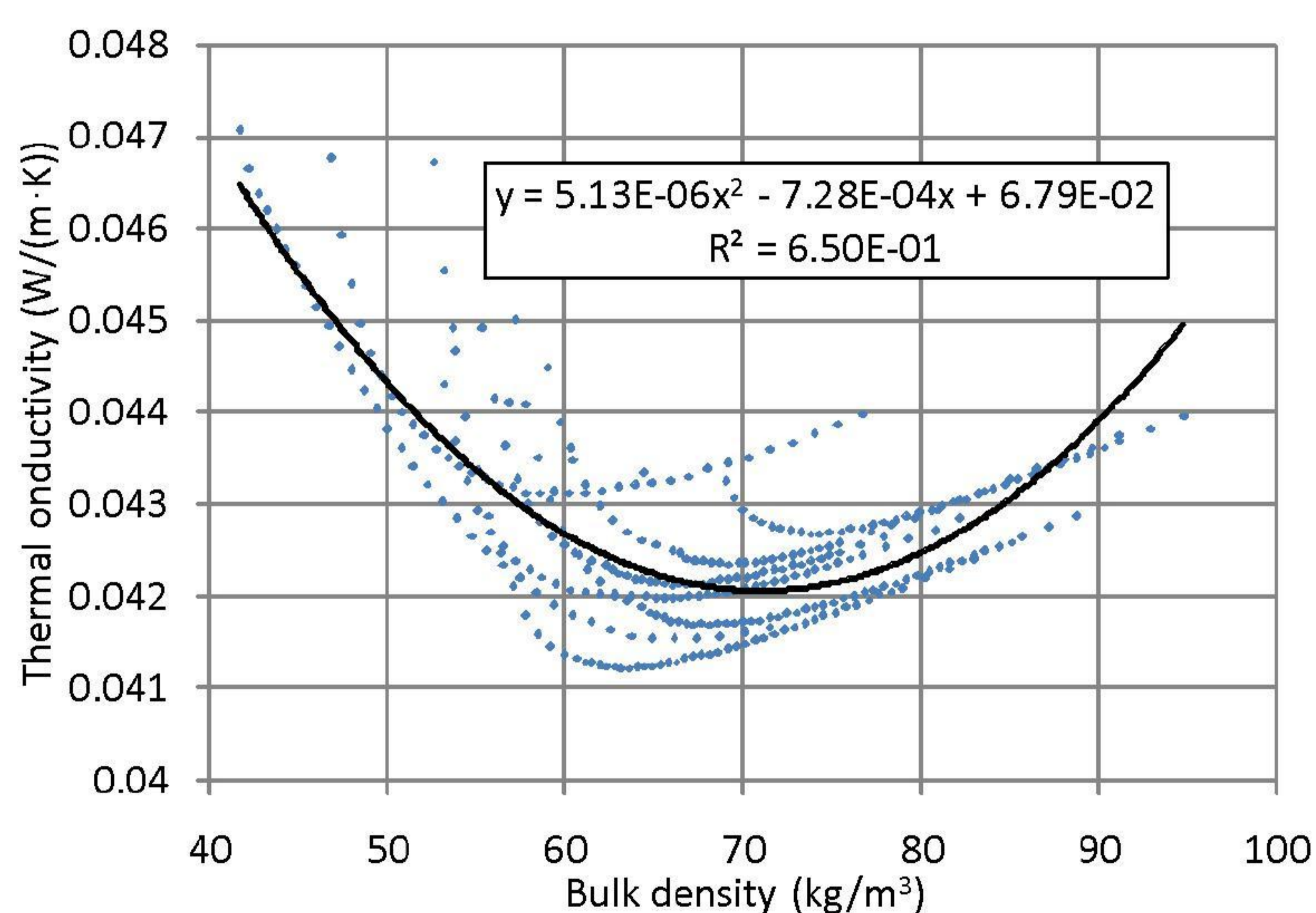
Na rysunku 4 przedstawiono wyniki pomiarów przewodności cieplnej luznych włókien konopnych. Wraz ze wzrostem gęstości nasypowej włókna konopnego przewodność cieplna maleje. Wyniki badań są powtarzalne. Wyniki pomiarów pokazują, że nie udało się uzyskać gęstości mniejszej niż 18 kg/m<sup>3</sup>, natomiast maksymalna uzyskana gęstość wyniosła 85 kg/m<sup>3</sup>. Przewodność cieplna dla 18 kg/m<sup>3</sup> wynosi około 0,076 W/(m·K), natomiast dla 85 kg/m<sup>3</sup> wynosi około 0,040 W/(m·K).





Rys. 4 Przewodność cieplna włókien konopnych w funkcji gęstości nasypowej (Kosiński i inni 2018)

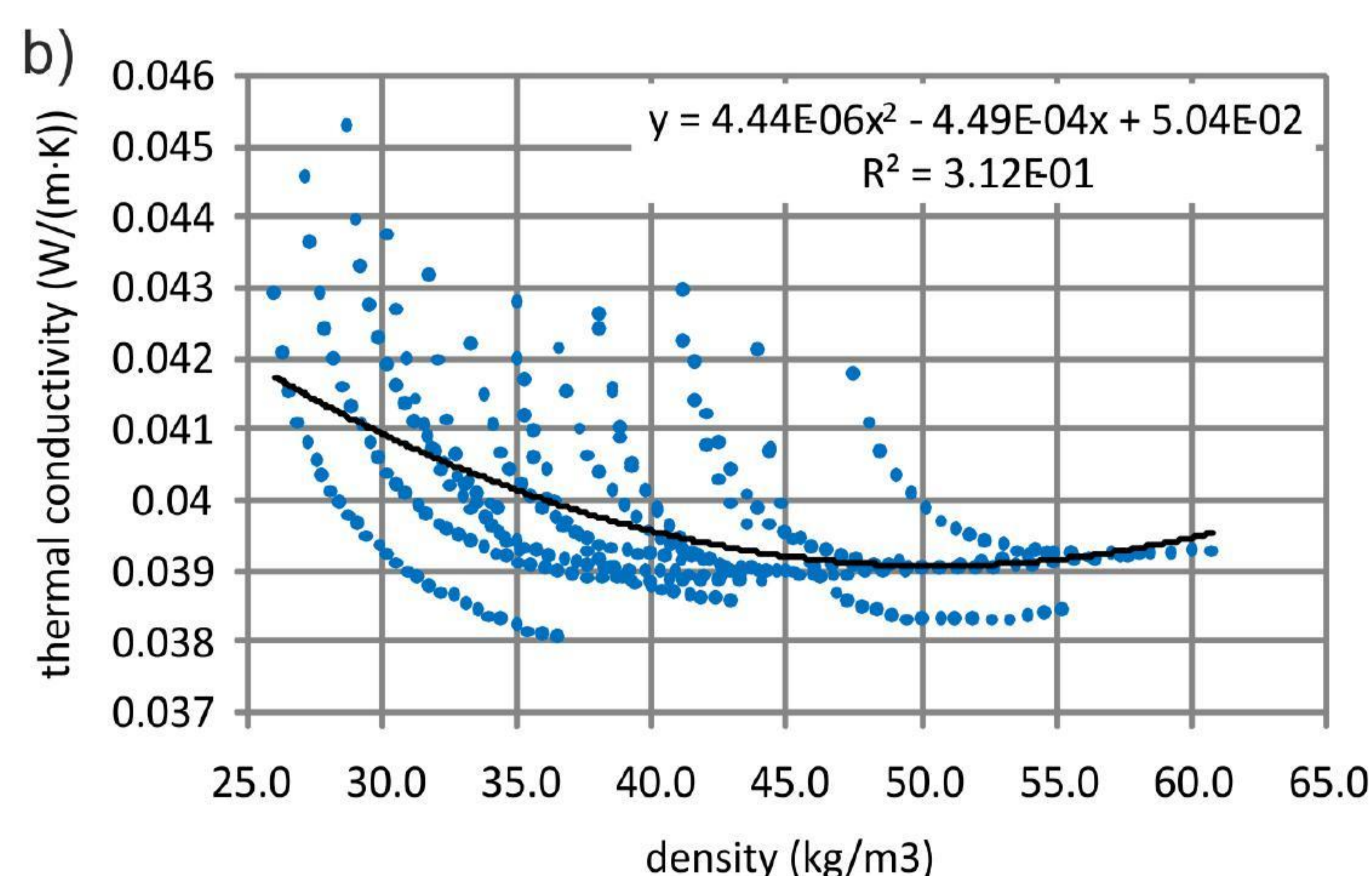
Wyniki pomiarów przewodności cieplnej luźnych włókien celulozowych przedstawiono na rysunku 5. Rysunek zawiera wyniki kilkunastu serii pomiarowych zagęszczanych próbek. Należy zaznaczyć, że zmielona celuloza ma cechę zbrylania się w czasie, stąd wyniki nie układają się w aż tak uporządkowany sposób jak w przypadku włókien konopnych. Duża liczba obserwacji pozwala jednak wyznaczyć trend. Wraz ze wzrostem gęstości nasypowej włókien celulozowych zmniejszają się wartości przewodności cieplnej. Wyniki pokazują, że maksymalna uzyskana gęstość nasypowa wyniosła 95 kg/m<sup>3</sup>, natomiast nie udało się uzyskać gęstości mniejszej niż 42 kg/m<sup>3</sup>. Najniższym współczynnikiem przewodzenia ciepła wynoszącym około 0,041 W/(m·K) charakteryzowała się próbka o gęstości około 63 kg/m<sup>3</sup>, natomiast najwyższy około 0,047 W/(m·K) odpowiadał próbce o gęstości około 43 kg/m<sup>3</sup>. Największa kumulacja punktów pomiarowych występuje dla współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  w zakresie 0,041-0,043 W/(m·K) i w zakresie gęstości 60-80 kg/m<sup>3</sup>.



Rys. 5 Przewodność cieplna włókien celulozowych w funkcji gęstości nasypowej (Brzyski i inni 2019)

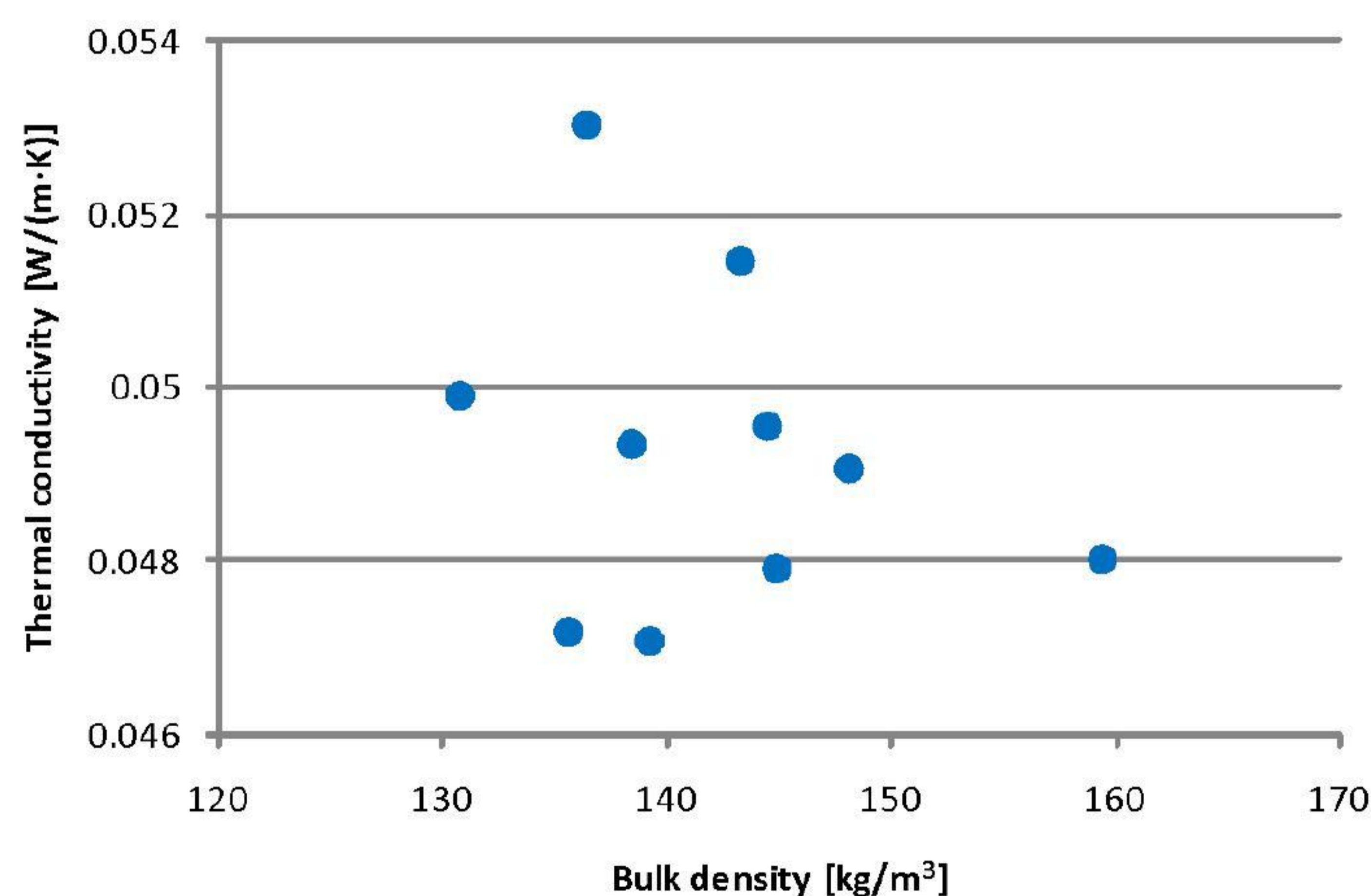
Wyniki pomiarów przewodności cieplnej luźnych włókien celulozowych przedstawiono na rysunku 5. Rysunek zawiera wyniki kilkunastu serii pomiarowych zagęszczanych próbek. Należy zaznaczyć, że zmielona celuloza ma cechę zbrylania się w czasie, stąd wyniki nie układają się

w aż tak uporządkowany sposób jak w przypadku włókien konopnych. Duża liczba obserwacji pozwala jednak wyznaczyć trend. Wraz ze wzrostem gęstości nasypowej włókien celulozowych zmniejszają się wartości przewodności cieplnej. Wyniki pokazują, że maksymalna uzyskana gęstość nasypowa wyniosła 95 kg/m<sup>3</sup>, natomiast nie udało się uzyskać gęstości mniejszej niż 42 kg/m<sup>3</sup>. Najniższym współczynnikiem przewodzenia ciepła wynoszącym około 0,041 W/(m·K) charakteryzowała się próbka o gęstości około 63 kg/m<sup>3</sup>, natomiast najwyższy około 0,047 W/(m·K) odpowiadał próbce o gęstości około 43 kg/m<sup>3</sup>. Największa kumulacja punktów pomiarowych występuje dla współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  w zakresie 0,041-0,043 W/(m·K) i w zakresie gęstości 60-80 kg/m<sup>3</sup>.



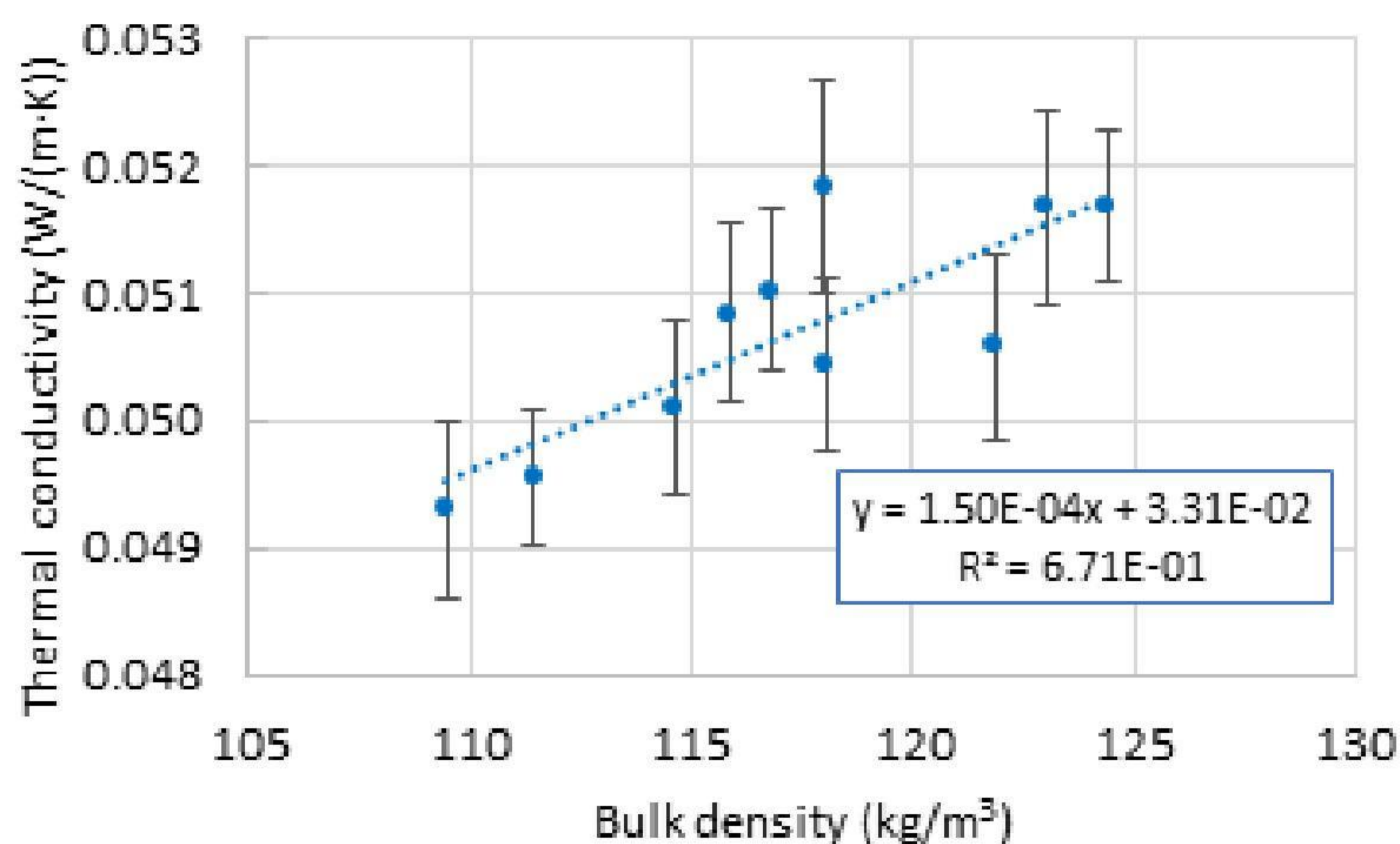
Rys. 6 Przewodność cieplna luźnej wełny drzewnej w funkcji gęstości nasypowej (Kosiński, Skoratko 2019)

Rysunek 7 prezentuje wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła próbek wykonanych z luźnych paździerzy lnianych różniących się gęstością nasypową. Próbki formowano ręcznie w ramce wykonanej z XPS. W badaniu osiągnięto gęstości w zakresie 131-159 kg/m<sup>3</sup>. Zmierzona wartość przewodności cieplnej mieści się w zakresie 0,047-0,053 W/(m·K) z tendencją do zmniejszania wartości wraz z przyrostem gęstości, być może spowodowanej domykaniem porów między drobinami.



Rys. 7 Przewodność cieplna paździerzy lnianych w zależności od gęstości nasypowej (Brzyski i inni 2021).

Rysunek 8 prezentuje wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła próbek wykonanych z luźnych paździerzy konopnych różniących się gęstością nasypową. Próbki formowano ręcznie w ramce wykonanej z XPS. W badaniu osiągnięto gęstości w zakresie 109-124 kg/m<sup>3</sup>. Zmierzona wartość przewodności cieplnej mieści się w zakresie 0,049-0,052 W/(m·K) z tendencją do zwiększania wartości wraz z przyrostem gęstości.

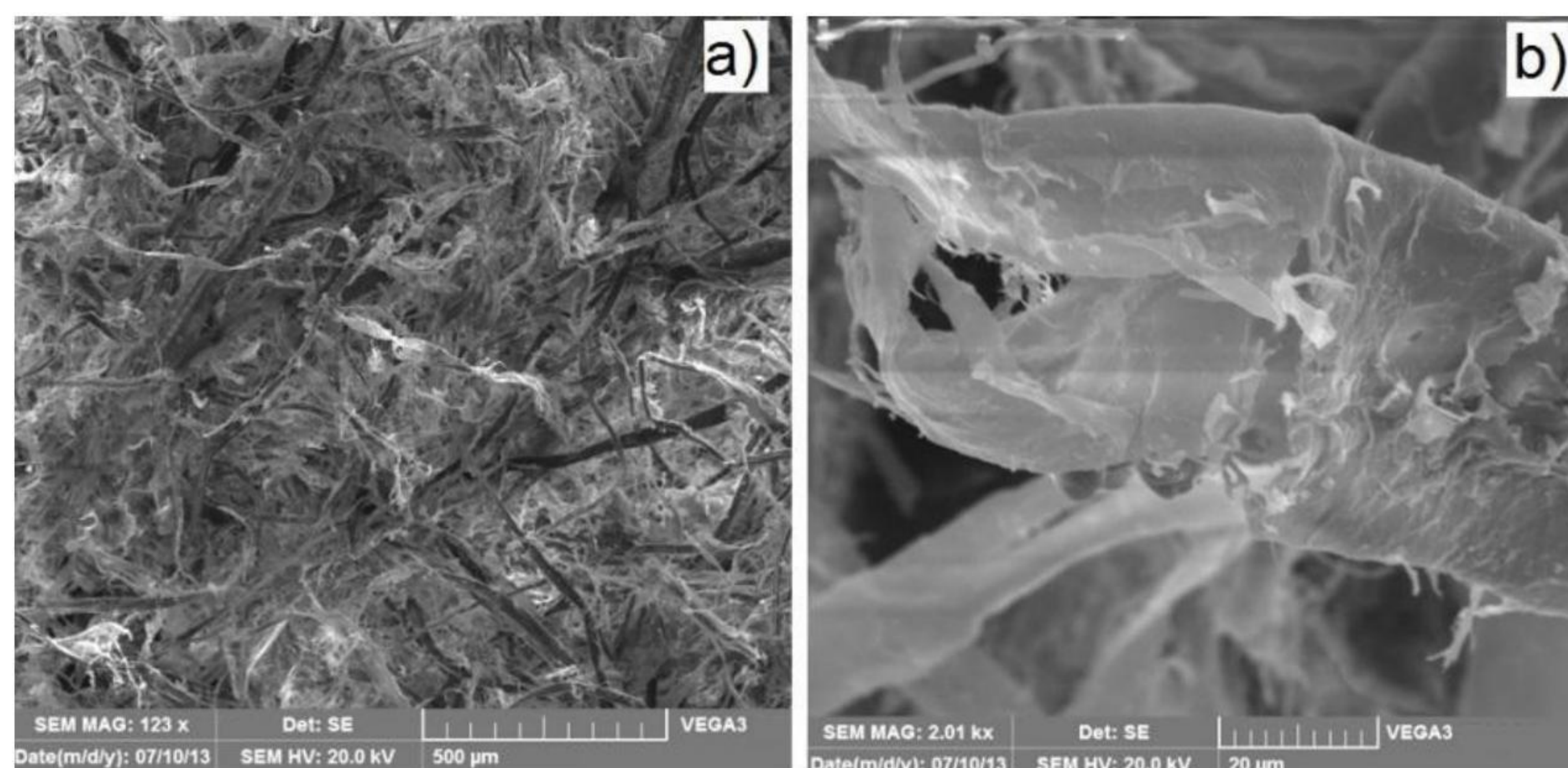


Rys. 8 Przewodność cieplna paździerzy konopnych w zależności od gęstości nasypowej (Kosiński i inni 2022)

Innym, luźnym materiałem, który również może być wykorzystany jako izolacja cieplna jest sło- ma roślin jednorocznych. Tradycja wykorzystywania słomy jako termoizolacji sięga tysięcy lat. Ze słomy, trzciny wykonywano pokrycia dachowe, sło- ma uszczelniano ściany drewniane, słomą izolowano poddasza, stropy. Również sło- ma w mieszaninie z gliną znana jako polepa służyła jako materiał konstrukcyjny, jednocześnie izolujący cieplnie i akustycznie budynki. Przewodność cieplna słomy zależy od ukierunkowania źdźbeł względem strumienia ciepła. Ukierunkowanie prostopadłe cechuje niższa przewodność cieplna. Brzyski i inni (Brzyski 2019) wykonali badania słomy zbożowej w układzie mieszanym źdźbeł, przy gęstości nasypowej 50,9 kg/m<sup>3</sup> zmierzili przewodność cieplną o średniej wartości 0,0473 W/(m·K).

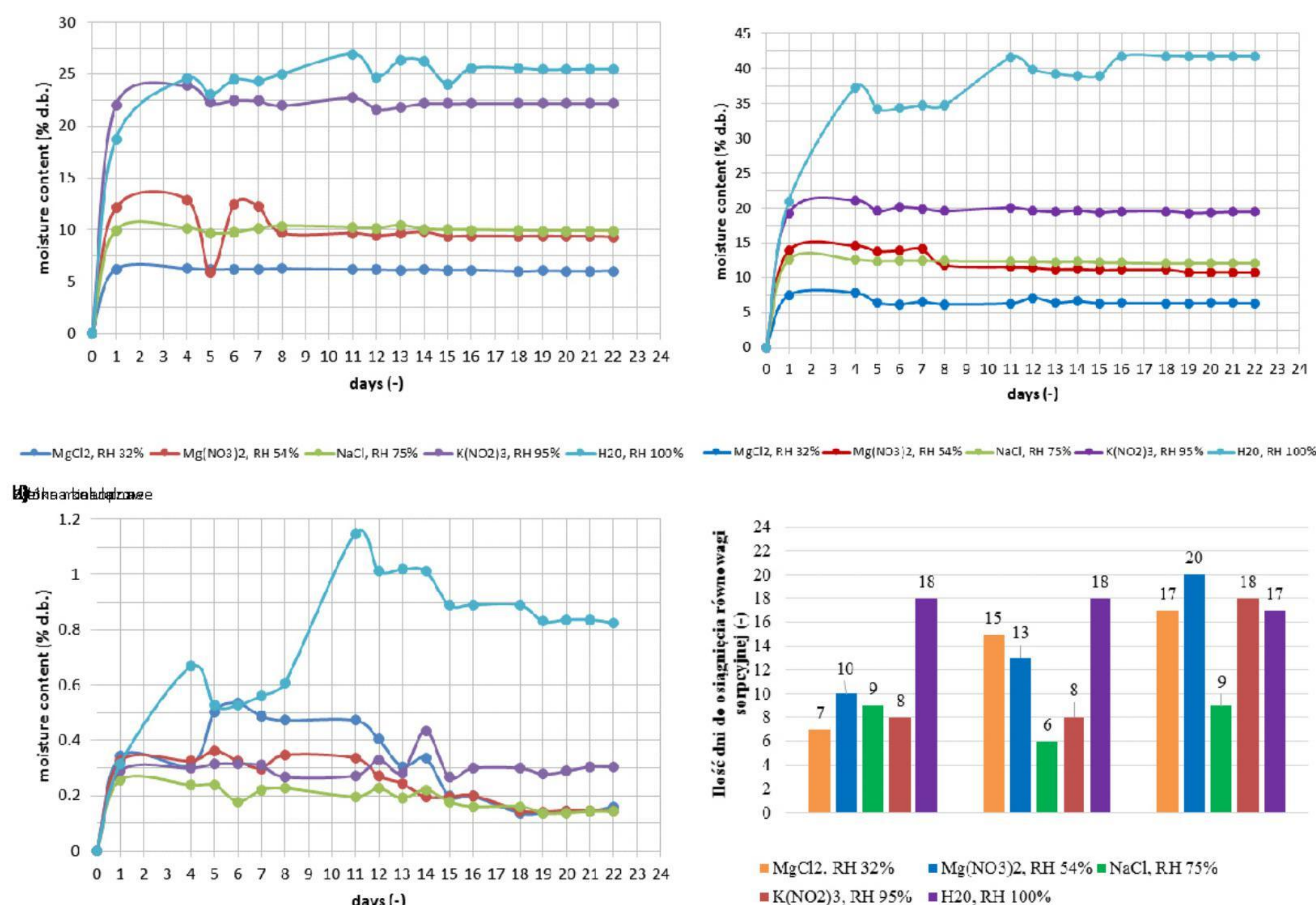
We współczesnym budownictwie sło- ma zazwyczaj nie jest wykorzystywana w postaci luźnej, ale uformowanej w konstrukcjach typu strawbale. Są też znane rozwiązania w których sło- ma związana produktami z recyklingu szkła uformowana w postaci płyt stanowiła termoizolację ścian budynków (Nagy i inni 2023).

Właściwości wilgotnościowe materiału organicznych są równie istotne jak właściwości cieplne. Materiały te mają zdolność do akumulacji wilgoci wewnątrz struktury, co umożliwia ich porowa- ta, otwartokapilarna struktura, dobrze widoczna w powiększeniu mikroskopem elektronowym. Przykładowo, włókna celulozowe charakteryzują się kapilarną budową wewnętrzną. Włókna roz- dzielają się włoskowato w wielu kierunkach, tworząc większe struktury, które budową przypomi- nają włókna roślinne. Średnice włókien mieszczą się w przedziale 1–50 μm, a odstępy pomiędzy włóknami mieszczą się w przedziale 1–150 μm. Budowę tych włókien pokazano na rysunku 9. Podobną budowę mają włókna drzewne. Włókna konopne i sło- ma charakteryzują się większą długością i podłużnym ukierunkowaniem kapilar.



Rys. 9 Włókna celulozowe w powiększeniu a) 123x, b) 2000x (Brzyski i inni 2019).

W pracy (Kosiński i inni 2020) poddano analizie właściwości wilgotnościowe luźnych włókien celulozowych, konopnych i porównawczo – wełny mineralnej. Badania obejmowały wyznaczenie wilgotności sorpcyjnej (rysunek 10). Próbkę wełny konopnej potrzebowały najkrótszego czasu potrzebnego do osiągnięcia równowagi masowej, co może być związane z ich małą powierzchnią właściwą. Cechy te mogą mieć wpływ na uzyskanie najszybszego stanu równowagi pomiędzy badanymi materiałami w warunkach wilgotności 32 i 54%. Włókna celulozowe mają bardziej zróżnicowaną strukturę większą powierzchnię właściwą materiału. Stąd czas osiągnięcia stanu równowagi dla wilgotności 32 i 54% był dłuższy niż dla włókien konopnych. Próbkę wełny mineralnej potrzebowały najwięcej dni, aby osiągnąć równowagę masową w warunkach wilgotności 32-95%. Badania wykazały duży potencjał włókien konopnych i celulozowych do pochłaniania wilgoci. W przypadkach kondycjonowania ich próbek w warunkach 32, 54, 75 i 93% materiały wykazały podobne zawilgocenie. Duża różnica jest natomiast dla próbek umieszczonych w warunkach 100%, gdzie celuloza osiągnęła zawilgocenie o 64% większe niż celuloza. Wełna mineralna w warunkach 100% osiągnęła zawilgocenie na poziomie 0,9%. Jest materiałem chłoniącym bardzo niewielkie ilości wilgoci na skutek sorpcji.



Rys. 10 Wilgotność sorpcyjna a) włókien konopnych, b) włókien celulozowych, c) wełny mineralna, d) ilość dni potrzebnych do osiągnięcia równowagi sorpcyjnej 3 włóknistych materiałów termoizolacyjnych w stanie luźnym nad roztworami o znanym RH (Kosiński i inni 2020).

## 2.1.2 Materiały formowane fabrycznie

Materiały termoizolacyjne w postaci uformowanej mają wiele zalet. Do podstawowych należy ich łatwy montaż, brak konieczności zabudowy płytami przed ułożeniem izolacji. Dużą zaletą jest także, zazwyczaj kontrolowana fabrycznie powtarzalność ich właściwości. Aktualnie najpopularniejszym na polskim rynku materiałem termoizolacyjnym pochodzenia naturalnego, dostępnym w postaci uformowanej, jest wełna drzewna. Polska jest liderem europejskim w produkcji tego materiału.

W pracy (Nagy i inni 2023) zestawiono materiały dostępne na rynku krajów Grupy Wyszehradzkiej, sprzedawane w postaci płyt. Materiały te mogą być wykorzystane do izolowania ścian zewnętrznych budynku. Są zbudowane na bazie włókien konopnych, lnianych, słomy zbożowej, włókien drzewnych, a także wermikulitu. Właściwości materiałów zebrane w tabeli 3 opracowano na podstawie danych dostarczonych przez producentów.

Materiał	Przewodność cieplna (W/(m·K))	Ciepło właściwe (J/(kg·K))	Opór dyfuzyjny	Gęstość nasypowa (kg/m <sup>3</sup> )	Klasa ogniowa	Wytrzymałość na ścislenie (kPa)
Capatect Hanf Wall	0.040	1700	3.9	92-130	E	-
Ecopanely	0.099	1700	9.7	379	E	30
Juta Naturizol	0.039	1550	2.2	250	E	-
Nordtex Konope Panel	0.040	1900	3.9	100	E	-
UdiTherm SK	0.038	2100	5	160	E	50
SSH Terra Szalmapaplan	0.041	-	4.4	80-100	E	25-38
Steico Protect Dry	0.040	2100	3	140	E	100
Tepore Fúkaná Slamená	0.055	2000	1.3	105-140	E	-
Vermeko ThermoVerm	0.090	1000	-	375	A1	1500
Vestaeco Wall	0.043	2100	5	140	E	30
W-heat Board	0.039	1380	10	145	B	100
Woolstyle Gold Normal	0.040	1720	1-2	16	E	-

Tabela 3 Właściwości materiałów pochodzenia organicznego i naturalnego dostępnych w krajach Grupy Wyszehradzkiej (na podstawie Nagy i inni 2023)

Inną grupę materiałów formowanych fabrycznie stanowią prefabrykaty ściennie wypełnione słomą zbożową. Technologie wykonywania prefabrykatów szczegółowo opisał Jagielak (2023) podając również zakresy stosowanej gęstości i przewodność cieplną produktów komercyjnie dostępnych na rynku. Większość opisanych produktów cechowała gęstość w zakresie 85-120 kg/m<sup>3</sup>, a przewodność cieplna w zależności od ukierunkowania źdźbeł od 0,046 W/(m·K) dla przepływu ciepła prostopadle do źdźbeł do 0,080 W/(m·K) dla kierunku równoległego. Conti i inni zbadali przewodność cieplną różnych słomy różnych gatunków zboża (Conti i inni 2017).

W tabeli 4 zawarto ich wyniki. Źdźbła były ułożone w sposób mieszany, bez przeważającego uporządkowania względem strumienia ciepła.

Materiał	Gęstość (kg/m <sup>3</sup> )	Przewodność cieplna (W/(mK))	Zawartość wilgoci (%)
Pszenica orkiszowa	79,40	0,0555	6,2
Pszenica zwyczajna	65,60	0,0661	5,2
Jęczmień	90,75	0,0603	5,1
Pszenica odm. Frassineto	82,06	0,0615	6,6
Pszenica durum	85,71	0,0653	7,1

Tabela 4 Przewodność cieplna słomy wybranych gatunków zboża (Conti i inni 2017)

## 2.2 Materiały konstrukcyjne

Materiały konstrukcyjne w odróżnieniu od termoizolacji muszą spełniać określone w projekcie wymagania wytrzymałościowe. Każda konstrukcja budowlana powinna spełniać wszelkie wymagania stawiane obiektom budowlanym przez Prawo Budowlane.

Z surowców naturalnych, w polskich warunkach klimatycznych, kamienie eratyczne oraz drewno są materiałami wymagającymi najmniejszego przeobrażenia aby wykorzystać je konstrukcyjnie. Nakłady energii na łupanie kamienia lub przetarcie drewna są i tak mniejsze niż np. procesy wypalania (ceramika), mielenia i klejenia (materiały drewnopochodne). Jednocześnie w wyniku obróbki drewna lub kamieni, nie zmienia się ich podstawowych cech wytrzymałościowych. Z uwagi na dużą gęstość, kamienie znajdują zastosowanie przede wszystkim przy wznoszeniu ścian piwnicznych. Można więc uznać, że podstawowym naturalnym materiałem konstrukcyjnym stosowanym w Polsce jest drewno. Wg informacji z Banku Danych o Lasach (<https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/lasy-na-swiecie>) powierzchnia lasów w Polsce równa jest 30,8% całkowitej powierzchni lądowej kraju.

### 2.2.1 Drewno

W konstrukcjach budowlanych stosowane jest najczęściej drewno sosnowe i świerka, rzadziej modrzewia i drzew liściastych. Zaletą gatunków liściastych jest ich niska gęstość (zazwyczaj 400-650 kg/m<sup>3</sup>), niewielkie odkształcenia przekroju, oraz łatwa obróbka mechaniczna. Gatunki liściaste cechują się wyższą gęstością (500-750 kg/m<sup>3</sup>), większymi parametrami wytrzymałościowymi, np. wytrzymałością na docisk, stąd twarde drewno liściaste często jest stosowane na podwaliny lub klocki stosowane w złączach.

Istotnymi cechami drewna są jego naturalna, anizotropowa budowa oraz wysoka higroskopijność. Właściwości mechaniczne i fizyczne są różne w zależności od zawartej wilgoci oraz miejsca w materiale i kierunku (wzdłuż i w poprzek włókien). Wytrzymałość i odkształcalność drewna zależą od gatunku drzewa pochodzenia, budowy i wad drewna, temperatury i wilgotności materiału. Zwiększenie wilgotności powoduje zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie i zginanie oraz zmianę wartości modułu sprężystości. Podwyższenie temperatury powoduje zmniejszenie cech wytrzymałościowych drewna i modułu sprężystości podłużnej.

Norma PN-EN 338:2016-06 Drewno konstrukcyjne - Klasy wytrzymałości, obejmuje drewno drzew iglastych i liściastych. W normie podano wartości charakterystyczne właściwości wytrzymałościowych i sprężystych drewna. W tartakach klasa drewna jest określana przez brakarza na podstawie widocznych wad i gęstości drewna. Klasa drewna konstrukcyjnego jest określana dopiero po przetarciu. W przypadku certyfikacji drewna badania należy przeprowadzać zachowując procedury pomiarowe, co podwyższa koszty. W ten sposób, w praktyce większość drewna konstrukcyjnego na polskim rynku to drewno niecertyfikowane. W tabeli 5 przedstawiono właściwości drewna iglastego na podstawie PN-EN 338:2016-06, w tabeli 6 te same właściwości dla drewna liściastego.

Właściwość	Gatunki iglaste											
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
właściwości wytrzymałościowe (MPa)												
zginanie	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	27.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
rozciąganie wzdłuż włókien	8.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	16.0	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0
rozciąganie w poprzek włókien	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
ściskanie wzdłuż włókien	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	25.0	26.0	27.0	29.0
ściskanie w poprzek włókien	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
ścinięcie	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
właściwości sprężyste (GPa)												
średni moduł sprężystości wzdłuż włókien	7.0	8.0	9.0	9.5	10.0	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0
5% kwantylu modułu sprężystości wzdłuż włókien	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7
średni moduł sprężystości w poprzek włókien	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53
średni moduł odkształcenia postaciowego	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00
gęstość (kg/m <sup>3</sup> )												
gęstość charakterystyczna	290.0	310.0	320.0	330.0	340.0	350.0	370.0	380.0	400.0	420.0	440.0	460.0
średnia gęstość	350.0	370.0	380.0	390.0	410.0	420.0	450.0	460.0	480.0	500.0	520.0	550.0

Tabela 5 Właściwości drewna iglastego na podstawie PN-EN 338:2016-06

Właściwość	Gatunki liściaste							
	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
właściwości wytrzymałościowe (MPa)								
zginanie	18.0	24.0	30.0	35.0	40.0	50.0	60.0	70.0
rozciąganie wzdłuż włókien	11.0	14.0	18.0	21.0	24.0	30.0	36.0	42.0
rozciąganie w poprzek włókien	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
ściskanie wzdłuż włókien	18.0	21.0	23.0	25.0	26.0	29.0	32.0	34.0
ściskanie w poprzek włókien	7.7	7.8	8.0	8.1	8.3	9.3	10.5	13.5
ścinięcie	3.4	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	5.0
właściwości sprężyste (GPa)								
średni moduł sprężystości wzdłuż włókien	9.5	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	17.0	20.0
5% kwantylu modułu sprężystości wzdłuż włókien	8.0	8.5	9.2	10.1	10.9	11.8	14.3	16.8
średni moduł sprężystości w poprzek włókien	0.63	0.67	0.73	0.80	0.86	0.93	1.13	1.33
średni moduł odkształcenia postaciowego	0.59	0.62	0.69	0.75	0.81	0.88	1.06	1.25
gęstość (kg/m <sup>3</sup> )								
gęstość charakterystyczna	475.0	485.0	530.0	540.0	550.0	620.0	700.0	900.0
średnia gęstość	570.0	580.0	640.0	650.0	660.0	750.0	840.0	1080.0

Tabela 6 Właściwości drewna liściastego na podstawie PN-EN 338:2016-06

Z uwagi na naturalne pochodzenie, drewno powinno zostać poddane suszeniu przed wbudowaniem do konstrukcji. Najwyższą jakość osiąga drewno suszone komorowo, strugane czterostronnie. W ten sposób ryzyko deformacji przekroju jest ograniczone do minimum, a gładkie powierzchnie stanowią lepsze zabezpieczenie przed owadami, grzybami, czy zapłonem. Ponadto, drewno powinno być pozbawione kory, zarobaczenia, sinizny i zgnilizny.

Zastosowanie w elementach konstrukcji drewna o dużej wilgotności, przy wysychaniu, powoduje jego pękanie i odkształcanie się, będzie ono dobrym podłożem do rozwoju grzybów. Szczególnie niebezpieczne jest stosowanie nadmiernie wilgotnego drewna na podciągi, eksploatacyjne suszenie będzie generowało ich odkształcenia, wywołując w ten sposób wtórne momenty zginające. Mimo potrzeby suszenia, należy mieć na uwadze, że drewno nie może zostać całkowicie pozbawione wilgoci, ponieważ będzie chłonęło wilgoć z otoczenia. Wiązałoby się to z szybkim zniszczeniem materiału (pęcznienie, deformacje). Szczególną uwagę należy poświęcić ochronie elementów z drewna przed wilgocią podczas transportu, składowania i montażu tak, aby zapobiec zawilgoceniu drewna. Wilgotność drewna nie powinna przekraczać 18% w konstrukcjach chronionych przed zawilgoceniem oraz 23% w konstrukcjach pracujących na otwartym powietrzu.

### 2.2.2 Materiały drewnopochodne

W celu eliminacji naturalnych wad drewna, takich jak anizotropowość oraz wyjątkowo duża higroskopijność rozpoczęto wytwarzanie materiałów drewnopochodnych. Dziś stosowane są przede wszystkim w formie płyt o zróżnicowanych grubościach. Są to zazwyczaj produkty wytwarzane poprzez prasowanie i sklejanie wiórów i fornirów, listew oraz innych drobnowymiarowych produktów i odpadów drewnianych, np. gałęziówki. Najpopularniejsze z nich to płyty pilśniowe, o wiórkach orientowanych, włóknach klejonych warstwowo, sklejki. Podstawowe zastosowanie takich materiałów to warstwy poszycia. Należy więc dobierać je świadomie, tak by nie blokować transportu pary wodnej przez przegrody. W tabeli 7 zestawiono podstawowe cechy materiałów: LVL (laminated veneer lumber)- fornirów klejonych warstwowo, CLT (cross laminated timber)-drewna klejonego krzyżowo, OSB oraz sklejki.

Materiał	Gęstość (kg/m <sup>3</sup> )	Opór dyfuzyjny (-)	Przewodność cieplna w suchym (W/(m·K))	Ciepło właściwe (kJ/(kg·K))
LVL	480-550	Mokry 75, suchy 205	0,13	1,6
CLT	365-440	185-286	0,12-0,13	1,6
Sklejka	300-1000	200	0,09-0,24	1,6
OSB	600-660	50	0,13	1,7
Płyta pilśniowa	200-900	>5	0,06-0,18	2,1

Tabela 7 Podstawowe właściwości materiałów drewnopochodnych



### 2.2.3 Warstwy wykończeniowe

Surowce pochodzenia naturalnego mogą służyć do wyrabiania zapraw tynkarskich. Odzyskujące popularność tynki gliniane składają się z mielonej gliny, drobnego kruszywa i dodatków, np. siekanych łodyg roślin jednorocznych. Rolą takich dodatków jest przeciwdziałanie skurczom powstającym w procesie wysychania. Wykorzystanie dodatków organicznych niesie też pozytywny wpływ na zwiększanie sorpcyjności tynków (Cascione i inni 2020). Tynki gliniane poza ekologicznymi zaletami mają i tą, że potrafią akumulować wilgoć i uwalniać ją do otoczenia. Stanowią więc naturalny regulator mikroklimatu wnętrza. Co istotne, nie wymagają do tego użycia energii. Tynki gliniane stosuje się głównie na ścianach z materiałów organicznych, np. strawbale lub hempcrete, znajdują także zastosowanie na tradycyjnych ścianach murowanych (Ashour i inni 2011, Mazhoud i inni 2021). Nie zaleca się stosowania tynków glinianych niemodyfikowanych ze względu na ich małą odporność na wodę.

Drugim istotnym składnikiem zapraw i tynków jest piasek. Wyróżniane są piasek zasypowy oraz płukany. Zasypowy z uwagi na jego bezpośrednie wybieranie z wyrobiska może zawierać zanieczyszczenia organiczne oraz dużą zawartość cząstek pylastych. Ich obecność sprawia, że taki piasek zazwyczaj nie może zostać wykorzystany do produkcji zapraw i tynków. Dopiero płukanie umożliwia pozbycie się niepożądanych składników. Wymagania stawiane kruszywom przeznaczonym do produkcji betonu zawarto w normie PN-EN 12620+A1:2010 Kruszywa do betonu. Klasyfikacja ziaren piasku pod względem rozmiaru i kształtu zamieszczona jest pośród innych gruntów w normie PN-EN ISO 14688-1:2018-05 Rozpoznanie i badania geotechniczne - Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów -- Część 1: Oznaczanie i opis.

Zaprawy i tynki podlegają ogólnym wymaganiom opisanym w normach PN-EN 998-1:2016-12 Wymagania dotyczące zaprawy do murów - Część 1: Zaprawa do tynkowania zewnętrznego i wewnętrznego oraz PN-EN 998-2:2016-12 Wymagania dotyczące zaprawy do murów - Część 2:

Zaprawa murarska. Należy zaznaczyć, że są to wymagania dotyczące przygotowania próbek i ich testowania. Normy nie wspominają o glinie jako jednym ze składników zaprawy.

W roku 1955 i 1965 opublikowano normę PN-B-14501 Zaprawy cementowo-gliniane podane były wymagania stawiane glinie wykorzystywanej do produkcji zapraw cementowo-glinianych.

Opisane były badania, które obejmowały sprawdzenie:

- zawartości piasku w glinie,
- obecności związków organicznych,
- zawartości pirytów,
- konsystencji zawiesiny glinianej.

Podano tam także proporcje przygotowywanych zapraw i tynków z użyciem zawiesiny glinianej. Skład podano w tabeli 8.

Marka zaprawy	Orientacyjny skład objętościowy (cement: zawiesina gliniana: piasek)	
	Zapraw murarskich i tynkarskich	Zapraw wodoszczelnych
2	1: 4: 16	-
4	1: 3: 12	-
8	1: 2: 10	-
15	1: 1,5: 8	-
30	1: 1: 6	1: 2: 3
		1: 2: 4
50	1: 0,5: 4	1: 1,5: 2,5

Tabela 8 Orientacyjne składy objętościowe składników zaprawy (PN-65/B-14501)

Norma PN-B-14501 wyróżnia 3 rodzaje gliny:

- tłustą o zawartości piasku do 3%
- średnio tłustą o zawartości piasku od 3 do 15%
- chudą o zawartości piasku od 15 do 30%.

Dla każdej z nich podany jest sposób przygotowywania do produkcji zawiesiny glinianej.

Opublikowana w roku 1990 norma PN-90/B-14501 Zaprawy budowlane zwykłe, nie zawiera już informacji o zaprawach glinianych. Warto wspomnieć, że w latach 60 XX w., glina była na tyle popularnym materiałem, że powstało kilka norm warunkujących stosowanie gliny do:

- Wykonywania ścian ubijanych z gliny, BN-62/8841-04 Budownictwo z gliny. Ściany z gliny ubijanej. Warunki techniczne wykonania i odbioru,
- Produkcji cegieł i bloków cementowo-wapiennych z wypełniaczami, BN-62/9012-01 Cegły i bloki cementowo-gliniane z wypełniaczami.

Współcześnie można zaobserwować zainteresowanie technologią wznoszenia budynków z ubijanej gliny. W Polsce z uwagi na warunki klimatyczne nie jest to często wybierany system budowania. Brak krajowych standardów. Można za to przywołać normę ASTM E2392/E2392M-10(2016) Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems, w której szczegółowo opisano budownictwo z ubijanej ziemi, w tym z gliny.

Alternatywą do wyrabiania zaprawy tynkarskiej jest stosowanie gotowych płyt tynku glinianego. W wielu przypadkach mogą one stanowić alternatywę dla popularnych płyt gipsowo-kartonowych. Można spodziewać się, że zastąpienie gipsu gliną będzie miało korzystny wpływ na buforowanie wilgoci, a brak okładzinowego kartonu umożliwi oddawanie tej wilgoci do pomieszczenia. Potwierdzenie tej tezy wymaga jednak przeprowadzenia badań laboratoryjnych.

### 3. Pozyskiwanie surowców naturalnych do stosowania w budownictwie

Surowce naturalne stosowane w budownictwie powinny być przede wszystkim pozbawione zanieczyszczeń oraz być wolne od zarodników grzybów. Dodatkowo od materiałów stosowanych jako izolacje cieplne należy także wymagać pełnego wysuszenia. Materiały organiczne mają właściwości higroskopijne, zawartość wilgoci w ich włóknach wpływa znacząco na przewodność cieplną. Dodatkowo, przeważnie izolacje cieplne wykonywane z surowców naturalnych mają charakter zasypowy. Wilgotne włókna będą sprzyjały rozwojowi grzybnii, co w konsekwencji może doprowadzić do pełnej degradacji materiału. Nie można także stosować materiałów, które są porażone przez mikroorganizmy.

W celu wykorzystania własnych zasobów gliny do produkcji zapraw, tynków, czy nawet ubijanych ścian, należy przeprowadzić badania w celu określenia tłuściości gliny, jej urabialności oraz zawartości zanieczyszczeń. Możliwe jest dobieranie receptur podanych w starych normach.

#### Literatura

- Brzyski P., Kosiński P., Skoratko A., Motacki W. 2019. Thermal properties of cellulose fiber as insulation material in a loose state. AIP Conference Proceedings 2133. Proceedings of the Central European Symposium on Thermophysics 2019 (CEST 2019) 16th-18th September 2019 Banská Bystrica, Slovakia. <https://doi.org/10.1063/1.5120136>
- Brzyski P., Kosiński P., Nadratowska M. 2019. Thermal bridge occurrence in straw-bale timber frame walls. IOP Conference Series 710. Proceeding of the IV International Conference of Computational Methods in Engineering Science – CMES'19, 21st-23rd November 2019, Kazimierz Dolny, Poland. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/710/1/012029>
- Brzyski P., Kosiński P., Zgliczyńska A., Iwanicki P., Poko J. 2021. Mass Transport and Thermal Conductivity Properties of Flax Shives for Use in Construction Industry. Journal of Natural Fibers 18(7), <https://doi.org/995-1006>. 10.1080/15440478.2019.1675216
- Kosiński P., Brzyski P., Skoratko A., Motacki W. 2018. Thermal properties of raw hemp fiber as a loose-fill insulation material. Journal of Natural Fibers 15(5), 717-730. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1361371>
- Kosiński P., Skoratko A. 2019. The influence of climatic conditions on the thermal state of frame partitions insulated with loose fiber materials. MATEC Web of Conferences 282, 02038. Proceedings of the 4th Central European Symposium on Building Physics, CESBP 2nd-5th September 2019 Prague, Czech Republic. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928202038>
- Kosiński P., Brzyski P., Duliasz B. 2020. Moisture and wetting properties of thermal insulation materials based on hemp fiber, cellulose and mineral wool in a loose state. Journal of Natural Fibers 17(2), 199-213. <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1477086>
- Kosiński P., Brzyski P., Tunkiewicz M., Suchorab Z., Wiśniewski D., Palczyński P. 2022. Thermal Properties of Hemp Shives Used as Insulation Material in Construction Industry. Energies 15(7). <https://doi.org/10.3390/en15072461>
- Nagy B., Struhala K., Bosak L., Kosiński P. 2023. Evaluation of bio and natural-based thermal insulation materials in Visegrad countries. AIP Conference Proceedings 2918(1). Proceedings of the 5th Central European Symposium on Building Physics 2022 (CESBP 2022) 5-7 September 2022, Bratislava, Slovakia. <https://doi.org/10.1063/5.0170926>
- Jagielak, Maciej. Straw bale, czyli architektura z kostek słomy w Polsce. 2023. Praca doktorska obroniona w Politechnice Krakowskiej, Wydział Architektury, Kraków.
- Conti L., Giacomo G., Monti M., Pellegrini P., Rossi G., Barbari M. 2017. Simplified Method for the Characterization of Rectangular Straw Bales (RSB) Thermal Conductivity. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 245, 052035. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/5/052035>
- Ustawa - Prawo budowlane z 7 lipca 1994 r., z późniejszymi zmianami (Dz. U. z 2006 r. Nr 156, poz. 1118, z późn. zm.).
- Ashour T., Georg H., Wu W. 2011. An experimental investigation on equilibrium moisture content of earth plaster with natural reinforcement fibres for straw bale buildings. Applied Thermal Engineering 31(23), 293-303.
- Mazhoud B., Collet F., et al. 2021 Effect of hemp content and clay stabilization on hygric and thermal properties of hemp-clay composites. Construction and Building Materials 300, 123878
- Cascione V., Maskell D., et al. 2020 Comparison of moisture buffering properties of plasters in full scale simulations and laboratory testing. Construction and Building Materials 252, 119033



# Przegląd wiedzy o konoplicie

# Przegląd wiedzy o konoplicie

## Konopie i paździerz konopny

W Europie występują głównie dwa typy konopi: północny i południowy. W zależności od zastosowania (susz, nasiona, włókno, paździerz) uprawia się rośliny niższe (gdy zależy rolnikowi głównie na kwiatach) oraz wyższe (gdy głównym celem jest włókno i paździerz). Odmiany północne są niższe (70-100 cm) mają cienkie łodygi, są mało rozgałęzione i ich okres wegetacji jest krótszy. Typ południowy jest wysoki (250-400 cm), mocno rozgałęziony a ich okres wegetacji wynosi 140-160 dni [1].

W Polsce uprawiane są konopie przemysłowe pośredniego typu. Ich okres wegetacji wynosi 120-140 dni i rosną na wysokość 250-400 cm. Pozyskiwane są z nich głównie włókna oraz paździerz. Grubość łodygi oraz jej „zasobność” na cele budowlane zależy od wielu czynników m.in. gęstości siewu, nawożenia, warunków pogodowych oraz momentu zbioru. Grubość łodygi na plantacjach nasiennych wynosi głównie 5-20 mm.

## Wpływ paździerzy konopnych na wytrzymałość kompozytu wapienno-konopnego:

### 1. Wiązanie spoiwo-kruszywo i odkształcalność kompozytu:

Duża powierzchnia właściwa paździerzy konopnych wpływa negatywnie na wytrzymałość kompozytów przez słabe wiązanie spoiwo-kruszywo na złączu. Wysoka pochłanialność wody i długość cząstek paździerzy przyczyniają się do zwiększonej odkształcalności kompozytu, co sugeruje, że zarządzanie wilgotnością i optymalizacja długości paździerzy mogą być kluczowe dla poprawy wytrzymałości [2]. Zmniejszenie rozmiaru cząstek paździerzy konopnych prowadzi do zwiększenia wytrzymałości na ściskanie i modułu Younga, co jest związane ze zmniejszeniem wielkości makroporów w kompozycie. Drobniejsze cząstki pozwalają na uzyskanie lżejszych kompozytów o wolniejszych zmianach właściwości mechanicznych [3], [4].

WNIOSEK: Ze względów wytrzymałościowych lepiej jest zastosować paździerz o drobnej frakcji.

### 2. Wpływ włókien na właściwości kompozytów:

Kompozyty zawierające mieszankę paździerzy i włókien wykazują gorsze właściwości mechaniczne w porównaniu do kompozytów z czystych paździerzy. Wynika to z mniejszej gęstości nasypowej i niższego współczynnika wchłaniania wody włóknistych paździerzy [5].

WNIOSEK: Paździerz konopny powinien być możliwie jak najbardziej pozbawiony włókien, zwłaszcza długich (tj. powyżej 5 cm). Całkowity udział włókien w kruszywie powinien być <5% (propozycja).

### **3. Zróżnicowane wpływy na wytrzymałość na zginanie i ściskanie:**

Interesującym aspektem jest, że kompozyty z większymi cząstkami paździerzy wykazują lepszą wytrzymałość na zginanie, co może być efektem lepszego zbrojenia przez dłuższe cząstki kruszywa. Z drugiej strony, kompozyty z drobniejszym kruszywem osiągają lepszą wytrzymałość na ściskanie, co sugeruje, że różne zastosowania kompozytów wapienno-konopnych mogą wymagać różnych proporcji rozmiarów cząstek w zależności od oczekiwanych obciążeń [6].

WNIOSEK: Choć dłuższe frakcje paździerzy konopnych (>3 cm) oraz włókna mogą pełnić rolę mikrobrojenia, należy ich unikać ponieważ mogą wyrządzić większą szkodę przez zaburzenie procesu mieszania i układania mieszanki w szalunku.

### **4. Wpływ rozmiaru cząstek paździerzy na przewodność cieplną**

Kompozyty zawierające drobniejsze paździerze wykazują około 6% wyższą przewodność cieplną w porównaniu z tymi, które zawierają grubsze paździerze konopne. Ten wzrost przewodności cieplnej z drobniejszym uziarnieniem może być związany z lepszym upakowaniem materiału i zmniejszeniem pustek powietrznych, co pozwala na efektywniejsze przewodzenie ciepła [6].

WNIOSEK: Dłuższe cząstki paździerzy poprawiają współczynnik przewodzenia ciepła w stosunku do kompozytu wykonanego z drobniejszej frakcji.

### **5. Wpływ na paroprzepuszczalność**

Badania wykazały, że w warunkach niskiej wilgotności względnej (RH) paroprzepuszczalność kompozytów z grubym i drobnym uziarnieniem paździerza jest niemal identyczna. Jednak przy wyższej wilgotności względnej, kompozyty z drobnymi paździerzami okazują się być nieznacznie bardziej przepuszczalne. Różnica jest jednak tak niewielka, że można ją wyjaśnić błędem pomiarowym na małej ilości próbkach [6].

WNIOSEK: Rozmiar cząstek paździerzy nie wpływa na przepuszczalność pary wodnej gotowego materiału.

### **6. Wpływ rozmiaru paździerzy na absorpcję wody przez kompozyt**

Zdolność do absorpcji wody przez kompozyty wapienno-konopne jest większa, gdy używane są drobniejsze cząstki kruszywa. To zjawisko ma bezpośredni wpływ na podciąganie kapilarne, które również okazuje się być wyższe w kompozytach z drobniejszymi paździerzami. Taki wzrost podciągania kapilarnego może wynikać z większego upakowania materiału oraz mniejszej ilości i rozmiarów

pustek pomiędzy paździerzami, co sprzyja lepszemu transportowi wody wewnątrz materiału.

WNIOSEK: Mieszanki z drobniejszą frakcją paździerzy będą potrzebować więcej wody do osiągnięcia odpowiedniej konsystencji. Może to wpłynąć też na czas schnięcia. Choć to zależy także od wodożądności paździerzy, która może się różnić niezależnie od uziarnienia. Ponadto mieszanki z drobniejszym paździerzem będą mniej odporne na podciąganie kapilarne wody.

## 7. Wpływ składu chemicznego paździerzy na wiązanie spoiwa

Składniki zawarte w paździerzach wchodzi w reakcje z mineralnymi składnikami spoiwa. Ma to istotny wpływ na proces wiązania w kompozytach wapienno-konopnych. Badania wskazują na negatywny wpływ cząstek lignocelulozowych, takich jak paździerze konopne, na proces wiązania i wczesne twardnienie pasty cementowej. Zobserwowano, że wokół cząstek konopi może tworzyć się otoczka z nieuwodnionego cementu, co wskazuje na ograniczenie tworzenia hydratów w kompozytach zarówno z pucolanowym spoiwem jak i cementem portlandzkim. [7], [8].

WNIOSEK: Paździerze konopne zawierają sobie substancje chemiczne rozpuszczalne w wodzie, które przeciwdziałają wiązaniu spoiwa, zwłaszcza składnika hydraulicznego. Wskazane są poszukiwania w kierunku ograniczenia wchłaniania wody przez paździerz na etapie wytwarzania kompozytu.

### Wymagania stawiane paździerzom konopnym:

Mieszanka paździerzy konopnych powinna być jak najbardziej pozbawiona pyłów [9], [10]. Francuska norma przyjmuje zawartość <2% cząstek przechodzących przez sito 0,25 mm. Zawartość pyłu w mieszance zwiększa zapotrzebowanie na wodę mieszanki, przez co wydłuża wysychanie elementu. Ponadto paździerze powinny być pozbawione części innych roślin. Francuska norma mówi o 100% materiału pochodzącego z uprawy konopi. Paździerze konopne powinny być pozbawione włókien [4] lub ich ilość powinna być optymalizowana [9] gdyż zwiększają one zapotrzebowanie na wodę w mieszance i mogą prowadzić do powstawania tzw. kłębow, które przeciwdziałają homogeniczności mieszanki hempcrete'owej. Najbardziej optymalne uziarnienie paździerzy jest długości 10÷25 mm [11] lub 5÷35 mm [12] i średnicy : 1÷5 mm (rozzut dla średnicy: do 0,5% poniżej 0,5 mm, około 90% 1 – 4 mm, 3% powyżej 4 mm). Dłuższe frakcje mogą utrudniać mieszani kompozytu i jego układanie przez tworzenie dużych pustek powietrznych. Natomiast zbyt małe frakcje będą zwiększały zapotrzebowanie na wodę oraz spoiwo [9]. Dodatkowo francuska norma podaje, że paździerz powinien mieć wilgotność nie wyższą niż 19% [13]. Gęstość nasypowa powinna wynosić około 100 kg/m<sup>3</sup> [12]. Jednak w badaniach są używane paździerze w dużo szerszym przedziale tj. 70.8-158.9. Średnio paździerze konopne mają gęstość nasypową 120 kg/m<sup>3</sup> [2]. Dodatkowym wymogiem stawianym paździerzom konopnym jest ich kolor. Wskazane jest aby było on bardzo jasny beż lub lekko zielony [12] lub aby ilość cząstek niezgodnych z wzornikiem nie przekraczała 5% [13].

% masy	Celuloza	Hemicelulozy	Lignina	Pektyny	Popiół	Woski
Chenevotte [GAR 98]	18	12	28	6	2	4
Chenevotte [VIG 96] [VIG 96]	44	18	28	2	2	1
Włókna konopne [GAR 98]	55	16	4	18	4	3
Włókno konopne [VIG 08]	55	16	4	14	4	1
Włókno konopne [SED 08]	56,4	10,9	6	201		7,9
Włókna konopne [TRO 08]	58,7	14,2	6	16,8		4,3



Rysunek 1. Wzornik dopuszczalnej barwy paździerzy do celów budowlanych stosowany przez Francuską Organizację Budownictwa Konopnego (cząstki 1 i 3 są akceptowalne, 2 i 4 nie)

Ustawienia	Poziom wymagań
ilość materiału z rośliny konopi	100% materiału ze zbiorów czystej uprawy konopi.
Gęstość pozorna gotowego produktu	Maksymalna roczna zmienność +/- 15%
Rozmiar cząsteczki	Monitorowanie wielkości cząstek i stabilności tej wielkości cząstek. 95% cząstek ma długość mniejszą niż $L_{dmax}$ +/- 10%
Wilgotność słomy	<19%
Poziom pyłu	< 2% przechodząc przez sito 0,25
Kolor	% cząstek niezgodnych < 5%

Rysunek 2. Wymagania stawiane producentom paździerzy konopnych do celów budowlanych we Francji [12]



Parametr	Poziom wymagań
ilość materiału pochodzącego z konopi	100% materiału zebranego z czystych roślin konopi.
Gęstość nasypowa produktu końcowego	Maksymalne roczne odchylenie
Granulometria (uziarnienie)	Monitorowanie granulometrii i stabilność. 95% cząstek ma długość mniejszą niż $L_{dmax} \pm 10\%$ .
Wilgotność słomy	<19%
Poziom pyłu	< 2% przechodzące przez sito 0,25
Kolor	Cząstki niezgodne < 5%

## Spoiwo

Podstawowym składnikiem większości spoiw jest wapno hydratyzowane. Wynika to z jego:

- charakteru reakcji chemicznej, który wymaga dwutlenku węgla w obecności wody (wymiana wody z paździerzami konopnymi),
- dużej paroprzepuszczalności, która pozwala na wysychanie paździerza konopnego i zapewnia stwardniałemu materiałowi dobrą przepuszczalność pary wodnej,
- mniejszej przewodności cieplnej w porównaniu do spoiw cementowych,
- wysokiego pH, które chroni paździerz konopny przed korozją biologiczną,
- właściwości mechanicznych, które pozwalają na niewielkie odkształcenia bez pęknięć.

Podczas budowy ścian z hempcrete'u **istotne jest wczesne wiązanie, które umożliwia demontaż deskowania**. W tych warunkach wiązanie spoiwa powietrznego jakim jest wapno hydratyzowane jest ograniczone przez wysoką wilgotność **dlatego stosuje się dodatki spoiw hydraulicznych**. Do najpopularniejszych należą modyfikacje z cementu portlandzkiego, wapna hydraulicznego oraz cementu romańskiego [9], [10]. Dodatkowo aby ograniczyć udział spoiw hydraulicznych dodaje się pucolany. Mogą one być pochodzenia naturalnego lub produktami ubocznymi powstającymi w przemyśle. Przykładowe pucolany to: mączka wapienna, zmielony piasek kwarcowy, popiół lotny, pył krzemionkowy, metakrzemian sodu, metakaolinit [10].

Dostępne są także gotowe spoiwa do wykorzystania przy budowie z hempcrete'u. Ich podstawę najczęściej stanowi wodorotlenek wapnia, a dodatkami są składniki cementowe i pucolanowe [14], [15]. Do najpopularniejszych producentów spoiw należą firma Lhoist, która produkuje serie spoiw Tradical oraz St. Astier produkujące Batichanvre. Przykładowo, w skład spoiwa Tradical PF 70 wchodzi: 75% wapna hydratyzowanego, 15% spoiw hydraulicznych i 10% pucolan. Innymi firmami zajmującymi się produkcją spoiw do hempcrete są Hemp Technology Ltd, The Lime Centre, Hempire.

Dodatkowo jako spoiwa do hempcrete'u były badane gips [16], cement magnezjowy [17] oraz spoiwa żol krzemionkowe [18]. Więcej przykładów badanych spoiw wykorzystywanych w badaniach nad hempcrete'em obrazuje Tabela 5.

We francuskiej organizacji budownictwa z konopi podane są, które spoiwa łączą się z którymi

paździerzami. Zaznaczają, że to producent spoiwa i paździerz odpowiada za kompatybilność ich składników oraz receptury (proporcje). Wycinek z tabeli (Tabela 1):

Liant	Granulat Labellisé	Contact
Tradical® PF 70 (BCB)	CANA-GRANULA® Label n° 001/003/001 (Origine EUROCHANVRE)	BCB ou EUROCHANVRE
Tradical® PF 70 (BCB)	Biofibat' Chènevotte Label n° 001/002/001 (CAVAC)	CAVAC
Tradical® PF 70 (BCB)	Chanvribat® (BCB)	BCB
Tradical® THERMO FLA 3,5 CE (BCB)	Chanvribat® (BCB)	BCB
BATICHANVRE® (CESA)	ISOCANNA® (CESA)	CESA
Tradical® PF 70 (BCB)	Origine La Chanvrière Label n° 001/001/001	La Chanvrière
BATICHANVRE® (CESA)	Origine La Chanvrière Label n° 001/001/001	CESA ou La Chanvrière

Tabela 1

## Proporcje składników oraz przygotowywanie mieszanki

### Spoiwo i paździerz konopny

Kluczowym elementem, który będzie decydował o cechach i właściwościach kompozytu wapienno-konopnego jest proporcja składników: spoiwo, paździerz i woda. Ilość wody zależy od jakości paździerza (wielkości cząstek, zapylenia, ilości włókien, wilgotności), składu spoiwa i kolejności mieszania składników. Najważniejsze przy projektowaniu mieszanki kompozytu wapienno-konopnego jest ustalenie proporcji spoiwa do paździerza (wagowo). W literaturze można znaleźć bardzo szerokie zakresy, od 4,82 [3] do 0,69 [19]. Dla metody szalunkowej wykonywania ścian ta proporcja wynosi 1,5-2 [14], [20]. Producent popularnego spoiwa Tradical, firma Lhoist zaleca użycie większej proporcji tj. 2,2:1 (spoiwo:paździerz). Im niższa jest proporcja spoiwo/paździerz tym niższa gęstość, co za tym idzie współczynnik przewodzenia ciepła oraz wytrzymałość mechaniczna [9], [10], [17], [21]–[23]. Proporcje składników używane na polskim rynku przez wykonawców oraz zalecane przez producentów spoiwa są następujące:

Źródło	Spoiwo	Paździerz	Woda
Podlaskie Konopie	1,5-1,8	1	2-2,5
IWNiRZ Poznań	1,7	1	2,7
Wykonawca 1	1,5	1	2,4-2,8
Wykonawca 2	1,8	1	2,5

Tabela 2

Z tej Tabeli (Tabela 2) można wywnioskować, że rynek polski wymaga od producentów postawienia w pierwszej kolejności na dobrą izolacyjność termiczną, przez co mieszanki te mają mniejszą ilość spoiwa, w porównaniu np. z Francją.

## **Woda**

Ilość wody w mieszance ma istotne znaczenie dla właściwości kompozytu wapienno-konopnego. Zbyt mała jej ilość powoduje, że składniki spoiwa mają niekorzystne warunki do wiązania i twardnienia. Natomiast zbyt duża ilość wody powoduje, że spoiwo spływa do dolnych fragmentów muru przy ubijaniu oraz wydłużone jest schnięcie materiału przez mocną „opację” się wody przez paździerz konopny. Ilość wody w mieszance wpływa również na układanie się mieszanki w szalunku. W przypadku bardziej płynnej mieszanki tj. z większą zawartością wody, hempcrete będzie się łatwiej poddawał kompresji co skutkowało będzie lepszym upakowaniem materiału i większą gęstością.

W literaturze brak jest sprawdzonej formuły na wyznaczenie ilości wody. Kluczowym czynnikiem wpływającym na jej ilość jest absorpcja wody przez kruszywo czyli paździerz konopny. Im bardziej suchy paździerz oraz im większe jego zapylenie tym więcej będzie potrzeba wody. Paździerz konopny w ciągu pierwszej minuty pochłania wody ok 200% swojej masy [3]. Dlatego do mieszanki powinna zostać użyta ilość wody o masie co najmniej 2 razy większej niż ilość paździerza. Dokładną ilość ustala się w oparciu o konsystencje mieszanki. Metodą badania odpowiedniej konsystencji mieszanki jest metoda „kulki i palca”. Dokładnie opisał ją P. Brzyski: „Robocze kontrolowanie konsystencji i urabialności polegało na uformowaniu w dłoniach kuli z mieszanki wapienno-konopnej oraz manualnej próby jej rozdrobnienia. W sytuacji kiedy próbka rozwarstwia się na drobne elementy bez poczucia lepkości, oznacza to zbyt małą ilość wody. Kiedy próbka stawia opór w rozwarstwianiu (lub rozdrabnia się na kilka większych elementów) oraz można odczuć lepkość, oznacza to że konsystencja jest właściwa.” [9]. Wydaje się, że ta metoda jest nieprecyzyjna i wrażliwa na błąd ludzki. W przyszłości należałoby opracować lepszą metodę badania konsystencji lub dawkowania wody. Innym określeniem odpowiedniej konsystencji mieszanki może być „wilgotne musli” (ang. damp musli) [14].

## **Kolejność mieszania składników**

W literaturze naukowej najczęstszym sposobem mieszania składników jest: w pierwszej wymieszanie spoiwa z 0,5 do 3/4 całkowitej wody, następnie dodawanie paździerza konopnego i stopniowe dodawanie reszty wody do uzyskania pożądanej konsystencji [1], [24]. Można też znaleźć zalecenia aby mieszać spoiwo z całą wodą przeznaczoną do mieszanki, a potem dodawać paździerze konopne [20], [21]. Decydującym czynnikiem o kolejności dodawania składników jest ostatecznie rodzaj mieszalnika który zostanie użyty. W przypadku wytwarzania materiału na placu budowy jest to najczęściej mieszalnik z pionową osią obrotu, podobny do rolniczego mieszalnika do pasz. Ze względu na swoją budowę (wysyp materiału u spodu bębna mieszalnika) utrudnione jest wykonywanie mieszanki w kolejności spoiwo -> woda -> paździerz (ze względu na nieszczelność). W tym przypadku miesza się ze sobą najpierw suche składniki (spoiwo + paździerz), a następnie wodę lub wszystkie składniki na przemian w ilości 1/3 paździerza, 1/3 wody, 1/3 spoiwa [9], [10], [21]. Cały proces mieszania składników nie powinien trwać dłużej niż 10 minut, a wytworzona mieszanka powinna być zużyta w przeciągu pół godziny [11].

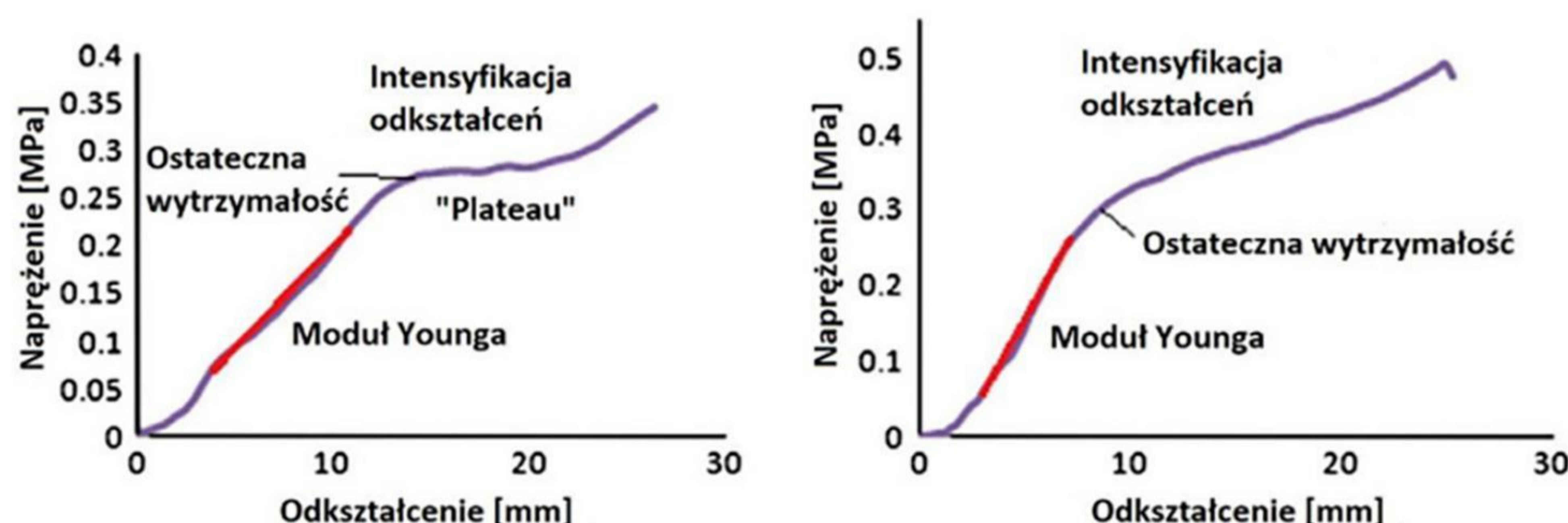
## **Metody badania właściwości hempcrete**

### **Wytrzymałość na ściskanie**

W literaturze notowana jest różnorodna metodologia badania wytrzymałości na ściskanie kompozytu wapienno konopnego. Skutkuje to niemożnością porównania ze sobą wyników badań i trudnością w określeniu granicznych wartości wytrzymałości materiału do celów użytkowych. Ten stan rzeczy

spowodowany jest nietypowym schematem zniszczenia próbek hempcrete i trudnością w jednoznacznym określeniu siły niszczącej próbkę.

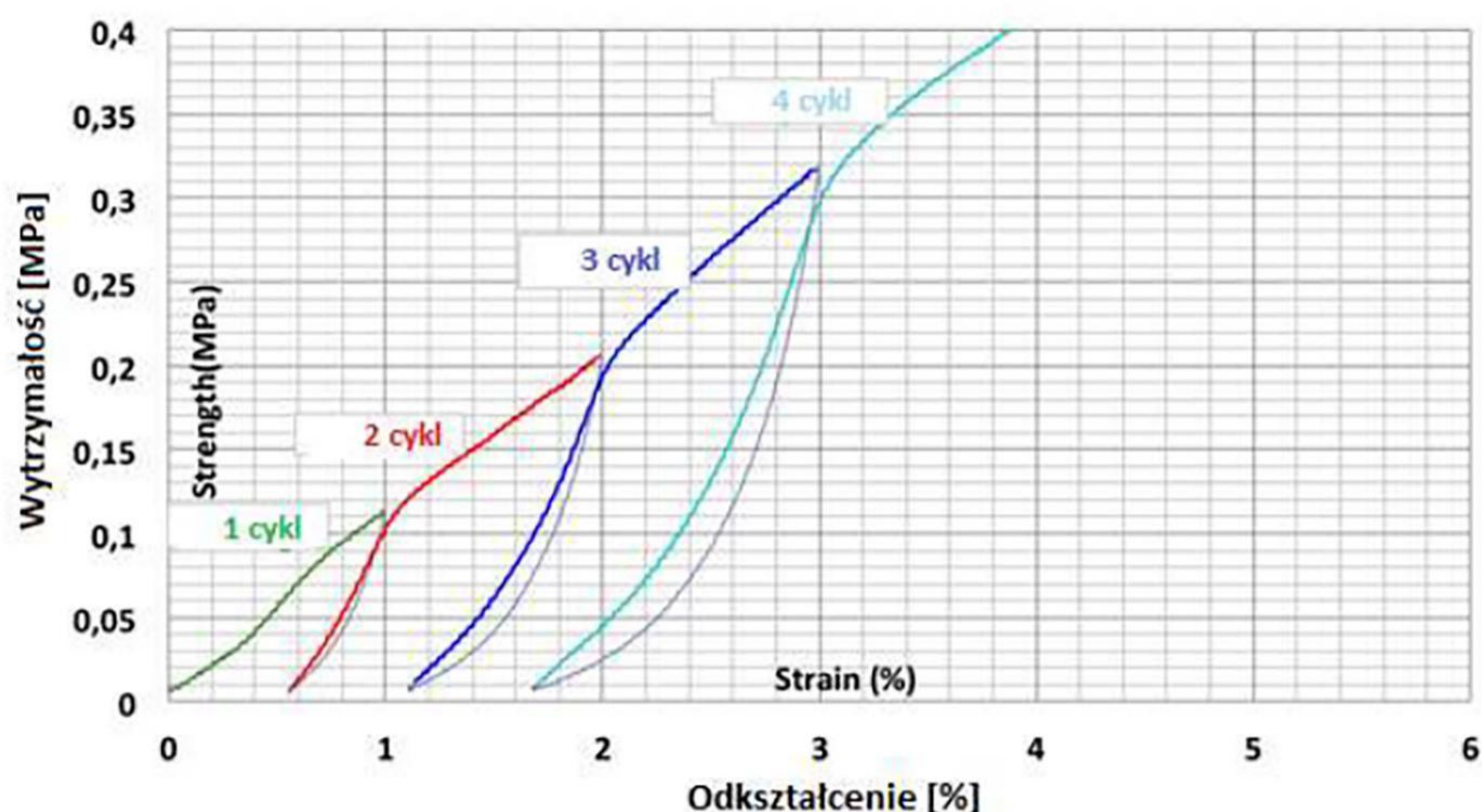
W początkowym etapie materiał wykazuje niewielki przyrost odkształceń przy wzroście naprężenia. Przez dalsze zwiększanie obciążenia materiał wykazuje znaczną deformację przy mniejszym wzroście naprężenia. Ten pierwszy stan quasi-sprężysty jest bardziej widoczny w próbkach o większej ilości spoiwa i wyższej wytrzymałości. Próbki często nie ulegają całkowitemu zniszczeniu, jak ma to miejsce np. w przypadku betonu, natomiast ulegają coraz większemu „sprasowaniu”, a wzrost naprężeń jest bardzo niewielki. Charakter zachowania się kompozytu wapienno-konopnego odwzorowuje strukturę materiału. W pierwszej kolejności niszczone są wiązania spoiwa i kompozyt ulega kompresji spowodowanej wypełnianiem pustek wynikających z luźnej struktury. W dalszej kolejności materiał jest kompresowany, co wynika z dużej ściśliwości paździerzy konopnych.



Poniższa tabela przedstawia metody badania wytrzymałości na ściskanie próbek hempcrete:

Źródło	Wymiary próbki	Metoda badania
[25]	100x100x(80-93) mm	Tempo obciążenia 10mm/min do 10% odkształcenia.
[24]	100x100x100 mm	Tempo obciążania 50 N/s, zgodnie z EN 459-2 oraz EN 196-1. Kres wytrzymałości określany gdy krzywa naprężenie/odkształcenie przestaje być prostoliniowa.
[9]	150x150x150 mm	Tempo obciążania 3 mm/min, $f_c = F_c/A$ gdzie $F_c$ to maksymalne obciążenie, a $A$ to pole przekroju. Test zakończono przy odkształceniu 20%.
[2], [26], [27]	Walec o średnicy 110 mm i wysokości 220 mm	Protokół „Niyigena”. Przemieszczenie 3 mm/min (obciążanie), 6 mm/min (odciążanie). Trzy cykle: 1. Obciążenie od 0 do 1% odkształcenia, następnie odciążenie do 0%, 2. Do tak jak w 1. ale do odk. 2%, 3. Tak jak w 1. ale do odk. 3%. Następnie obciążenie aż do momentu pęknięcia próbki (max 20%) i odciążenie. Ta metoda służy głównie do określania modułu sprężystości, a wytrzymałość określana jest jako maksymalne naprężenie w zakresie 0-20% odkształcenia.
[28]	Walec o średnicy 100 mm i wysokość 100 mm,	Tempo obciążania 0,2 mm/min do momentu max naprężenia zgodnie z normą do betonów UNI EN 12390-1.
[29]	50x50x50 mm	Tempo obciążania jest 0,6 N/s a próbki były testowane do 20% odkształcenia. Wytrzymałość próbki była także określana dla 5% odkształcenia z powodu granicy użyteczności. Do określania modułu sprężystości stosowano protokół „Niyigena”.
[30]	50x50x50 mm	Tempo obciążania 5 mm/min. Wytrzymałość w miejscu gdzie wykres odkształcenie/naprężenie przyjmuje postać niesprężystą (po początkowym okresie prostoliniowości).

Tabela 3



Rysunek 3. Schemat badania wytrzymałości na ściskanie według protokołu Niyigena

Kluczowym czynnikiem przy określaniu wytrzymałości na ściskanie hempcrete jest niski przyrost obciążenia oraz odpowiednia wielkość próbek, która zależy od wielkości kruszywa (paździerza). W przypadku uziarnienia 5-35 mm powinno się stosować próbki 150x150x150 mm lub walce o średnicy 100 mm i wysokości 200 mm.

Analizując dostępne i stosowane metody badań wytrzymałości na ściskanie zaleca się badać hempcrete na próbkach 150x150x150 mm lub walcach o średnicy 100 mm i wysokości 200 mm. Przemieszczenie głowicy ściskającej powinno wynosić 3 mm/min a maksymalna wytrzymałość na ściskanie określana w miejscu gdy materiał przestaje zachowywać się quasi-sprężysto i znacznemu przyrostowi odkształceń zaczyna towarzyszyć niewielki przyrost naprężeń. W przypadku braku możliwości określenia takiego punktu wytrzymałość na ściskanie powinna być określona dla 5% odkształcenia.

### Przewodność cieplna

Badania przewodności cieplnej hempcrete są najczęściej badane w aparacie płytowym, rzadziej metodą Hot Disk oraz w niewielu przypadkach w stabilizowanych komorach o ustalonych temperaturach w oddzielnych pomieszczeniach. Ze względu na strukturę materiału, rozmiar kruszywa oraz możliwe procesy zachodzące wewnątrz materiału najbardziej miarodajnym badaniem przewodności cieplnej jest takie, które jest przeprowadzone na jak największej próbce i grubości. Nie ma jednak badań porównujących poszczególne metody badania na tej samej mieszance więc trudno stwierdzić jakie różnice współczynnika przewodzenia ciepła są osiągnięte.

Dodatkowym czynnikiem, który wpływa decydująco o wartościach współczynnika przewodzenia ciepła jest wilgotność próbki. Hempcrete jest badany w różnych warunkach, w zależności od tego jak jest traktowany (materiał osłonowo- ścienny lub izolacja termiczna). Wydaje się, że ze względu na swoją paroprzepuszczalność oraz najczęstsze zastosowanie w budynkach jako jednorodna ściana materiał ten powinien być badany po sezonowaniu w RH 50% oraz temp 20 st. C. Taka wilgotność materiału może być bardziej miarodajna względem stanu suchego.

Źródło	Wymiary próbki	Metoda badania
[31]	300x300x102 mm	Aparat płytowy (model FOX314) firmy LaserComp, temp średnia +10, zgodnie z PN-EN 12667:2002
[25]	Grubość 100 mm	Aparat płytowy LaserComp FOX600 zgodnie z LVS EN 12667 standard guidelines. Różnica temp 20 st. Próbki wysuszone do badania.
[32]	fragment ściany 1m szerokiej, 900 mm wysokiej i 300 mm grubej	Badanie przepływu ciepła na fragmencie ściany w kontrolowanym pomieszczeniu, zgodnie z ISO 9869 and ASTM C1155.
[9]	300x300x50mm	Aparat płytowy Bocka-Fox 314. Temp 25 i 0 stC. Próbki wysuszone do stałej masy w suszarce 60 stC
[33]	Dyski średnicy 100 mm i grubości 40 mm	Metoda Hot Disk w temp 24 na pięciu próbkach

Tabela 4

Badanie współczynnika przewodzenia ciepła najlepiej wykonywać w aparacie płytowym o dużym polu pomiarowym oraz na jak największej grubości próbce. Różnica temperatur powinna wynosić minimum 20 st. a średnia temperatura 12,5 st. C.

## Współczynnik oporu dyfuzyjnego – paroprzepuszczalności

Badanie to najczęściej jest przeprowadzane zgodnie z normą EN 12086 na próbkach walcowych o średnicy 128 mm i wysokości 60 mm. Wyniki współczynnika oporu dyfuzyjnego są bardzo podobne, niezależnie od rodzaju mieszanki hempcrete i wynoszą od 4 do 7 [9], [32], [34], [35].

## Nasiąkliwość

Badanie polega na zanurzeniu próbek sześciennych 100x100x100 mm w wannie laboratoryjnej (po uprzednim wysuszeniu) oraz sprawdzania wagi próbek w kolejnych odstępach czasu. Ze względu na dużą nasiąkliwość hempcrete'u w pierwszych minutach doświadczenia momenty pomiaru są średnio po 5, 10, 15, 30 sekundach oraz kolejno po 3 10, 30 minutach, 3 godzinach, 6 h, 24 h oraz 3, 5 i 7 dniach.

## Zestawienie właściwości kompozytu wapienno-konopnego

Aby pokazać szeroki zakres wartości właściwości fizycznych jakie może osiągać kompozyt wapienno-konopny zdecydowano się na zestawienie tabelaryczne. Przez różny skład spoiwa, proporcji składników, jakości paździerza, sposób wykonania, sezonowania czy badania podstawowe wartości nie raz bardzo się różnią. Z tego powodu analiza tych właściwości jest wyjątkowo utrudniona i porównując poszczególne badania należy być bardzo ostrożnym i dokładnie zwracać na metodykę wykonania próbek lub badania poszczególnych cech.

Źródło	Spoiwo	Proporcje Spoiwo:Paździerz: Woda	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m <sup>2</sup> *K]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Współczynnik oporu dyfuzyjnego [-]	Pojemność cieplna [J/kg*K]	Nasiąkliwość wagowa [%]
[31]	Wapno hydratyzowane CL- 90S; CEM II/B-V 32,5 R; Dolomit Microdol 5; Zaprawa szamotowa zduńska ZZSz 0-2	1,4:1:0,93	506	0,1018	0,95	3,6	-	-
		1,37:1:0,97	435	0,0852	0,87	3,8	-	-
		1,33:1:1	335	0,0732	0,82	4,0	-	-
[25]	FHL–wapno hydratyzowane CL90 oraz metakaolin w stosunku wagowym 1,5:1	2,5:1:2,5	488	0,103	0,435	-	-	-
		2:1:2,25	352	0,079	0,111	-	-	-
		1:1:1,75	265	0,064	0,071	-	-	-
		0,75:1:1,63	223	0,062	0,062	-	-	-
	HL–spoiwo komercyjne składające się z wapna hydratyzowanego, wapna hydraulicznego oraz pucolan w stosunku 7:2:1	2,5:1:2,5	459	0,101	0,57	-	-	-
		2:1:2,25	391	0,081	0,204	-	-	-
		1:1:1,75	265	0,069	0,105	-	-	-
		0,75:1:1,63	220	0,063	0,071	-	-	-
[24], [32], [36]	70% CL 90s, 10% CEM I, 20% NHL 3,5	2:1:2,9-3,3	627	0,138	0,46	5,51	1340	-
	Spoiwo komercyjne (typu Tradical 70)		627	0,138	0,46	5,47	1300	-
	70% CL 90S, 30% GGBS		565	0,126	0,42	5,56	1250	-
	70% CL 90s, 30% GGBS, 0,5% metyloceluloza		569	0,129	0,43	5,71	1350	-
	80% CL 90s, 20% Metakaolin		508	0,117	0,39	5,42	1240	-
	80% CL 90s, 20% Metakaolin, 0,5% metyloceluloza		531	0,123	0,41	5,71	1280	-
[37]	Wapno hydratyzowane CL90S 70%, CEM	2:1:2,8	483,5	0,122	0,32	-	-	111,2

Źródło	Spoiwo	Proporcje Spoiwo:Paździerz: Woda	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m <sup>2</sup> *K]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Współczynnik oporu dyfuzyjnego [-]	Pojemność cieplna [J/kg*K]	Nasiąkliwość wagowa [%]
	II/B-V 32,5 R 15%, Metakaolinit 15%							
	Wapno hydratyzowane CL90S 70%, CEM II/B-V 32,5 R 15%, Metakaolinit 15%	1,83:1:2,65	457,1	0,113	0,29	-	-	118,4
	Wapno hydratyzowane CL90S 70%, CEM II/B-V 32,5 R 15%, Metakaolinit 15%	1,67:1:2,5	428,6	0,101	0,26	5,94	-	126,1
	Wapno hydratyzowane CL90S 70%, CEM II/B-V 32,5 R 15%, Metakaolinit 15%	1,5:1:2,35	404,4	0,088	0,23	-	-	138,2
	Wapno hydratyzowane CL90S 70%, CEM II/B-V 32,5 R 23%, Gлина 7%	1,43:1:2,86	404,6	0,082	0,51	3,62	-	148,3
	Wapno hydratyzowane 75%, Gips budowlany 15%, Metakaolinit 10%	1,8:1:2,79	423,1	0,094	0,44	3,44	-	116,9
	Wapno hydratyzowane 75%, Gips budowlany 15%, Metakaolinit 10%	1,7:1:2,67	419,5	0,093	0,37	-	-	123,8
	Wapno hydratyzowane 75%, Gips budowlany 15%, Metakaolinit 10%	1,6:1:2,56	414,6	0,091	0,32	-	-	127,7
	Wapno hydratyzowane 75%, Gips budowlany 15%, Metakaolinit 10%	1,5:1:2,45	407,1	0,089	0,28	-	-	132,5
	Wapno hydratyzowane 75%, Gips budowlany 15%, Metakaolinit 10%	1,4:1:2,31	397,7	0,086	0,22	-	-	140
[35]	Spoiwo komercyjne (75% wapno hydratyzowane, 15 % spoiwo hydrauliczne, 10% pucolany)	2.25:1:3	478	0,12	-	8,98	1100	-
[38]	90% Wapno hydratyzowane, Cegła kruszona 10%	1:1:2.5	339	0,0921	0,32	-	1350	-
	80% Wapno hydratyzowane, Cegła kruszona 20%	1:1:2.5	344	0,0902	0,19	-	1250	-
	90% Wapno hydratyzowane, Metakaolin 10%	1:1:2.6	372	0,0959	0,36	-	1397	-
	80% Wapno hydratyzowane, Metakaolin 20%	1:1:3.0	326	0,0937	0,21	-	1385	-
	50% Wapno hydratyzowane, Metakaolin 50%	1:1:3.0	365	0,091	0,33	-	1379	-
	30% Wapno hydratyzowane, Metakaolin 70%	1:1:2.5	319	0,0898	0,14	-	1352	-
	50% Wapno hydratyzowane, Wapno hydrauliczne 50%	1:1:2.5	341	0,0868	0,26	-	1383	-
	30% Wapno hydratyzowane, Wapno hydrauliczne 70%	1:1:2.5	340	0,0912	0,3	-	1421	-
[34]	Wapno hydratyzowane CL 90S 80%, Metakaolin 20%	1.5:1:2.5	317	0,098	0.244	4,2	-	-
	Wapno hydratyzowane CL 90S 80%, Metakaolin 20%	2:1:3.3	389	0,102	0.34	4,85	-	-



Źródło	Spoivo	Proporcje Spoivo:Paździerz: Woda	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m <sup>2</sup> *K]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Współczynnik oporu dyfuzyjnego [-]	Pojemność cieplna [J/kg*K]	Nasiąkliwość wagowa [%]
	Wapno hydratyzowane CL 90S 80%, Metakaolin 20%	2:1:3.3	389	0,102	0.34	4,85	-	-
	Wapno hydratyzowane 70%, Metakaolin 15%, Wapno hydrauliczne 15%	1.5:1:2.4	324	0,093	0.24	4,5	-	-
	Wapno hydratyzowane 70%, Metakaolin 15%, Wapno hydrauliczne 15%	2:1:2.8	394	0,101	0.37	4,8	-	-
[39]	Spoivo komercyjne Tradical	2.2:1:3	422	0,12	0,5	-	-	-
		1.8:1:3	374	0,1	0,42	-	-	-
		2.2:1:3	406	0,117	0,33	-	-	-
		2.6:1:3.07	432	0,129	0,31	-	-	-
		2.2:1:3	382	0,119	0,39	-	-	-

Tabela 5

### Metody poprawy właściwości kompozytu wapienno konopnego

Ważnym czynnikiem który wpływa na wiązanie spoiwa i ostateczną wytrzymałość betonu konopnego są warunki sezonowania. Zbyt mała wilgotność dojrzewania oraz zbyt duża skutkują spadkiem wytrzymałości kompozytu. Za najbardziej optymalne warunki dojrzewania betonu konopnego o spoiwie na bazie wapna uznaje się 50% RH [3].

Oprócz standardowych składników spoiwa badane były różnego rodzaju domieszki, które opóźniają wiązanie, uplastyczniają mieszankę, poprawiają lepkość lub wiążą wodę. Przykładami takich dodatków są metyloceluloza [6], [24], kwasek cytrynowy [33], superplastyfikatory [40] oraz inne produkty chemiczne [41], [42]. Tego typu domieszki stosowane są najczęściej aby poprawić wytrzymałość kompozytu wapienno konopnego.

Ze względu na kształt paździerzy kompozyt wapienno konopny jest materiałem anizotropowym. W trakcie zagęszczania mieszanki przez ubijanie cząstki kruszywa organicznego mają tendencję do układania się prostopadle do przyłożonej siły [43]. Podobny efekt, chociaż w mniejszym stopniu tyczy się układania mieszanki przez natrysk [44]. Ma to wpływ zarówno na wytrzymałość na ściskanie jak i na przewodność cieplną. W przypadku gdy kierunek przepływu ciepła jest prostopadły do kierunku ubijania materiał stawia mniejszy opór. Różnica wynosi od 16% do 33%. Podobnie jest z wytrzymałością kompozytu, który osiąga w kierunku równoległym do kierunku kompresji [40], [44].

Oznacza to, że metoda szalunkowo-ścienna, w której materiał ubijany jest pionowo, jest preferencyjna pod względem wytrzymałości na ściskanie ale niepreferencyjna pod względem przewodności cieplnej, która będzie korzystniejsza w przeciwnym kierunku.

Chemiczne związki zawarte w roślinach mają silny wpływ na rozwój matrycy mineralnej w kompozytach wapienno konopnych. Największy wpływ mają biopolimery takie jak celuloza, hemiceluloza, lignina oraz pektyna [45]. Na zawartość tych związków w paździerzach konopnych może mieć wpływ, uprawa, środowisko, proces przetwórstwa ale także metoda analizy zawartości tych składników w kruszywie. We wczesnym stadium mogą one zakłócić wiązanie i twardnienie spoiwa mineralnego. Na późniejszym etapie gdy kompozyt już stwardnieje mogą modyfikować jego właściwości. Na końcu, w dłuższej perspektywie mogą także wpływać na trwałość [46]. Większość prób wpływania na

te związki i ich efekt na materiały mineralno-roślinne bierze się z badań nad płytami włóknowo-cementowymi, wiórobetonów itp.

Ze względu na chemiczny skład paździerzy konopnych, który jest bardzo podobny do drewna można podejmować próby stosowania takich metod również przy produkcji betonu konopnego. Jedną z metod zastosowanych dla polepszenia właściwości kompozytu wapienno-konopnego i ograniczenia zużycia wody jest wstępne zabezpieczenie paździerzy rozwodnionym spoiwem [40].

Metoda ta nie wpłynęła znacząco na przewodność cieplną, jednak wytrzymałość na ściskanie wzrosła o 48% względem kompozytu wykonanego w klasyczny sposób.

### Bibliografia

1. [W. Cierpucha, *Technologia uprawy i przetwórstwa konopi włóknistych*. Poznań: Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich, 2013.
2. C. Niyigena, S. Amziane, and A. Chateauneuf, "Multicriteria analysis demonstrating the impact of shiv on the properties of hemp concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 160, pp. 211–222, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.026.
3. L. Arnaud and E. Gourlay, "Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes," *Constr. Build. Mater.*, vol. 28, no. 1, pp. 50–56, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.07.052.
4. N. Stevulova, L. Kidalova, J. Cigasova, J. Junak, A. Sicakova, and E. Terpakova, "Lightweight Composites Containing Hemp Hurds," *Procedia Eng.*, vol. 65, pp. 69–74, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.09.013.
5. T. Nguyen et al., "Influence of compactness and hemp hurd characteristics on the mechanical properties of lime and hemp concrete," vol. 8189, 2011, doi: 10.3166/EJECE.13.1039-1050.
6. P. Brzyski, M. Gładdecki, M. Rumińska, K. Pietrak, M. Kubiś, and P. Łapka, "Influence of Hemp Shives Size on Hygro-Thermal and Mechanical Properties of a Hemp-Lime Composite," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 23, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/ma13235383.
7. A. Bourdot, C. Magniont, M. Lagouin, C. Niyigena, P. Evon, and S. Amziane, "Impact of bio-aggregates properties on the chemical interactions with mineral binder, application to vegetal concrete," *J. Adv. Concr. Technol.*, vol. 17, no. 9, pp. 542–558, 2019, doi: 10.3151/jact.17.542.
8. Y. Diquélou, E. Gourlay, L. Arnaud, and B. Kurek, "Impact of hemp shiv on cement setting and hardening: Influence of the extracted components from the aggregates and study of the interfaces with the inorganic matrix," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 55, pp. 112–121, 2015, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2014.09.004.
9. P. Brzyski, *Kompozyt wapienno-konopny jako materiał ścienny spełniający wymagania zrównoważonego rozwoju w budownictwie*. 2022.
10. M. Gołębiewski, "Aspekty zastosowania kompozytów wapienno-konopnych w budownictwie indywidualnym domów mieszkalnych w architekturze proekologicznej," *Warsaw University of Technology*, 2020. [Online]. Available: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
11. W. Stanwix and A. Sparrow, *The Hempcrete Book: Designing and building with hemp-lime*. Green Books, 2014.
12. Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich, *Technologia uprawy i przetwórstwa konopi włóknistej*. Poznań, 2013.
13. *Construire en chanvre, "Référentiel label qualité « Chanvre Bâtiment »*," pp. 1–16, 2017.
14. A. Sutton, D. Black, and W. Pete, "Hemp Lime: An introduction to low-impact building materials," *BRE Inf. Pap.*, pp. 1–6, 2011.
15. P. Brzyski, "Kompozyt wapienno – konopny jako materiał ścienny spełniający zasady zrównoważonego rozwoju w budownictwie," *Politechnika Lubelska*, 2018.
16. P. B. De Bruijn, K. H. Jeppsson, K. Sandin, and C. Nilsson, "Mechanical properties of lime-hemp concrete containing shives and fibres," *Biosyst. Eng.*, vol. 103, no. 4, pp. 474–479, 2009, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2009.02.005.
17. M. P. Sáez-Pérez, M. Brümmer, and J. A. Durán-Suárez, "A review of the factors affecting the properties and performance of hemp aggregate concretes," *J. Build. Eng.*, vol. 31, no. October 2019, 2020, doi: 10.1016/j.job.2020.101323.
18. A. Hussain, J. Calabria-Holley, M. Lawrence, and Y. Jiang, "Hygrothermal and mechanical characterisation of novel hemp shiv based thermal insulation composites," *Constr. Build. Mater.*, vol. 212, pp. 561–568, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.029.
19. J. Page, M. Sonebi, and S. Amziane, "Design and multi-physical properties of a new hybrid hemp-flax composite material," *Constr. Build.*

- Mater., vol. 139, pp. 502–512, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.037.
20. S. Amziane and L. Arnaud, “4. Formulation and Implementation,” in *Bio-Aggregate-based Building Materials : Applications to Hemp Concretes*,
  21. E. Hirst, “Characterisation of Hemp-Lime as a Composite Building Material,” University of Bath, 2013.
  22. İ. Demir and C. Doğan, “Physical and Mechanical Properties of Hempcrete,” *Open Waste Manag. J.*, vol. 13, no. 1, pp. 26–34, 2020, doi: 10.2174/1874312902014010026.
  23. T. Jami, S. R. Karade, and L. P. Singh, “A review of the properties of hemp concrete for green building applications,” *J. Clean. Prod.*, vol. 239, p. 117852, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117852.
  24. R. Walker, S. Pavia, and R. Mitchell, “Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 61, pp. 340–348, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.02.065.
  25. M. Sinka, P. Van Den Heede, N. De Belie, D. Bajare, and G. Sahmenko, “Comparative life cycle assessment of magnesium binders as an alternative for hemp concrete,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 133, no. February, pp. 288–299, 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.02.024.
  26. C. Niyigena et al., “Variability of the mechanical properties of hemp concrete,” *Mater. Today Commun.*, vol. 7, pp. 122–133, 2016, doi: 10.1016/j.mtcomm.2016.03.003.
  27. C. Niyigena, “Variabilité des performances de bétons de chanvre en fonction des caractéristiques de la chènevotte produite en Auvergne,” Université Blaise Pascal-Clermont II, 2016.
  28. S. Benfratello, C. Capitano, G. Peri, G. Rizzo, G. Scaccianoce, and G. Sorrentino, “Thermal and structural properties of a hemp – lime biocomposite,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 48, pp. 745–754, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.096.
  29. J. Sheridan, M. Sonebi, S. Taylor, and S. Amziane, “Effect of linseed oil and metakaolin on the mechanical, thermal and transport properties of hemp-lime concrete,” 2017.
  30. [30] S. Elfordy, F. Lucas, and F. Tancret, “Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“ hempcrete ”) manufactured by a projection process,” vol. 22, pp. 2116–2123, 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.07.016.
  31. E. Haustein, “Thermal insulation properties of the lime-cement composite with hemp shives,” *Ecol. Eng.*, vol. 19, no. 4, pp. 72–78, 2018.
  32. R. Walker and S. Pavia, “Moisture transfer and thermal properties of hemp – lime concretes,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 64, pp. 270–276, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.081.
  33. G. Delannoy et al., “Influence of binder on the multiscale properties of hemp concretes,” *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 8189, pp. 1–17, 2018, doi: 10.1080/19648189.2018.1457571.
  34. W. Piątkiewicz, P. Narloch, and B. Pietruszka, “Influence of hemp-lime composite composition on its mechanical and physical properties,” *Arch. Civ. Eng.*, vol. LXVI, no. 3, 2020, doi: 10.24425/ace.2020.134409.
  35. M. Rahim, O. Douzane, A. D. T. Le, G. Promis, and T. Langlet, “Characterization and comparison of hygric properties of rape straw concrete and hemp concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 102, pp. 679–687, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.11.021.
  36. O. Kinnane, A. Reilly, J. Grimes, S. Pavia, and R. Walker, “Acoustic absorption of hemp-lime construction,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 122, pp. 674–682, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.106.
  37. P. Brzyski, “Hemp-lime composite as wall material meeting the requirements for sustainable development in construction industry,” Lublin University of Technology, 2018.
  38. Y. Abdellatef, M. A. Khan, A. Khan, M. I. Alam, and M. Kavgic, “Mechanical, thermal, and moisture buffering properties of novel insulating hemp-lime composite building materials,” *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 21, pp. 1–18, 2020, doi: 10.3390/ma13215000.
  39. J. Williams, M. Lawrence, and P. Walker, “The influence of constituents on the properties of the bio-aggregate composite hemp-lime,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 159, pp. 9–17, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.10.109.
  40. T. M. Dinh, C. Magniont, and M. Coutand, “Hemp concrete using innovative pozzolanic binder,” in *First International Conference on Bio-based Building Materials*, 2015.
  41. J. Sheridan, M. Sonebi, S. Taylor, and S. Amziane, “The effect of a polyacrylic acid viscosity modifying agent on the mechanical, thermal and transport properties of hemp and rapeseed straw concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 235, p. 117536, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117536.
  42. S. Marceau et al., “Influence of accelerated aging on the properties of hemp concretes,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 139, pp. 524–530, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.129.
  43. T. Langlet, “A multi-scale homogenization approach for the effective thermal conductivity of dry lime – hemp concrete,” vol. 1493, no. May 2017, 2018, doi: 10.1080/19401493.2017.1323009.
  44. J. Williams, M. Lawrence, and P. Walker, “The influence of the casting process on the internal structure and physical properties of hemp-lime,” *Mater. Struct.*, vol. 50, no. 2, pp. 1–10, 2017, doi: 10.1617/s11527-016-0976-4.
  45. S. Amziane and F. Collet, *Bio-aggregates Based Building Materials*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2017. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/8780>
  46. S. Amziane and M. Sonebi, “Overview on bio-based building material made with plant aggregate,” pp. 31–38, 2016.



**Parametry  
wytrzymałościowe  
dla drewna  
konstrukcyjnego**

# Przegląd wymagań na podstawie obowiązujących normatywów.

## 1. Charakterystyka drewna jako materiału konstrukcyjnego.

Drewno to jeden z najstarszych i najczęściej stosowanych materiałów w budownictwie.

Jego cechy powodujące taką popularność, to przede wszystkim łatwość pozyskania, dostępność, łatwość obróbki czy wysoki stosunek wytrzymałości do masy, z korzystnym połączeniem cech izolacyjności i pojemności cieplnej oraz wilgotnościowej. W końcu jest to materiał naturalny, anizotropowy, odnawialny.

### Podstawowe zalety konstrukcji drewnianych:

- wysokie bezpieczeństwo konstrukcji - poprawnie zaprojektowany i wybudowany dom z drewna jest bezpieczny - jego charakter sprawia, że obiekty takie budowane są nawet na terenach sejsmicznych, a właściwości drewna powodują, że zanim dojdzie do gwałtownego i niekontrolowanego zniszczenia konstrukcji - widoczny jest szereg symptomów pozwalających na właściwą reakcję
- możliwość prowadzenia robót niezależnie od temperatury otoczenia
- łatwość obróbki materiału
- możliwość prowadzenia prac bez dużej ilości sprzętu zmechanizowanego
- niewielki ciężar konstrukcji w stosunku do jej wytrzymałości
- aktywność kapilarna, podstawowa izolacyjność i wysoka pojemność cieplna i wilgotnościowa
- odnawialność i lokalna dostępność surowca, a co za tym idzie ograniczenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery

### Podstawowe wady konstrukcji drewnianych

- zmienność wymiarowa w zależności od wilgotności
- możliwość wystąpienia korozji biologicznej
- palność materiału (tak, drewno jest palne, ale jednocześnie odporne pożarowo)
- stosunkowo dobre przewodzenie dźwięku

W świetle obecnie obowiązujących przepisów aby drewno mogło zostać uznane za materiał, czy wyrób budowlany, musi spełniać odpowiednie kryteria, takie jak wilgotność, czy odpowiednia klasa wytrzymałości. W Polsce sortowanie drewna odbywa się przede wszystkim wizualnie, zaś do budowy konstrukcji drewnianych stosuje się klasy wytrzymałościowe C18 do C30, przy czym najpopularniejsza jest klasa C24. Należy mieć na uwadze, że dostępność przekrojów drewna w klasie C24 jest ograniczona, i przekroje inne niż typowe muszą być dostarczane jako przekroje klejone lub klejone warstwowo.

## 2. Podstawowe normy i przepisy

PN-EN 1995-1-1:2010 Projektowanie konstrukcji z drewna

PN-EN 338:2016 Drewno konstrukcyjne -- Klasy wytrzymałości

PN-EN 14081-1 Drewno konstrukcyjne sortowane wytrzymałościowo o przekroju prostokątnym

PN-EN 335:2013-07 Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych

PN-EN 14080:2013 - Konstrukcje drewniane -- Drewno klejone warstwowo i konstrukcyjne sklejone drewno lite -- Wymagania

## 3. Podstawowe informacje

Norma PN-EN 338:2016 definiuje KLASY wytrzymałości drewna konstrukcyjnego litego, łącząc w grupy różne klasy jakości i gatunki drewna konstrukcyjnego o podobnych właściwościach mechanicznych.

**Klasa wytrzymałości drewna konstrukcyjnego** określona w normatywie literą C określa charakterystyczną wartość wytrzymałości na zginanie podaną w N/mm<sup>2</sup> (MPa)

Dla każdej z klas Norma podaje wartości charakterystyczne pozostałych parametrów używanych w konstrukcyjnych obliczeniach statyczno wytrzymałościowych jak:

- wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien
- wytrzymałość na rozciąganie w poprzek włókien
- ściskanie wzdłuż włókien
- ściskanie w poprzek włókien
- ścinanie
- cała grupa właściwości sprężystych (moduły sprężystości, moduły odkształcenia)
- gęstości

Do każdej z klas drewno przypisywane jest w następstwie sortowania wizualnego lub mechanicznego - na podstawie normy PN-EN 14081-1 uwzględniającego kryteria takie jak:

- maksymalna długość dopuszczalnych pęknięć
- maksymalne spaczenie na odcinku 2 m
- oblina
- rozkład szary i twardy
- szkody jakie powodują owady
- wady nieunormowane
- średnica sęków
- skręt włókien

Drewno konstrukcyjne wprowadzone do obrotu, kiedy przeszło proces sortowania i oceny powinno zostać odpowiednio oznakowane znakiem CE.

Oznaczenie to jest unormowane i powinno zawierać minimum informacji określonych Normą, na elemencie drewnianym zwykle odbite w postaci stempla. Dodatkowe informacje powinny się znaleźć w dokumentacji handlowej.

Wilgotność drewna: Norma PN-EN 1995-1-1:2010 określa, że wilgotność drewna litego stosowanego

na elementy konstrukcyjne, nie powinna przekraczać:  
 18% – w konstrukcjach chronionych przed zawilgoceniem,  
 23 % – w konstrukcjach pracujących na otwartym powietrzu

Klasy użytkowania drewna: Norma PN-EN 335:2013-07 wprowadza klasy użytkowania drewna oraz podaje informacje o czynnikach biologicznych mogących atakować drewno i materiały drewnopochodne. Na podstawie klas użytkowania np. dobiera się właściwy sposób impregnacji.

Norma PN-EN 14080:2013 ustala wymagania dla drewna klejonego warstwowo w tym dla wyrobów zabezpieczonych przed korozją biologiczną.

Podobnie jak dla drewna litego wprowadzone są klasy wytrzymałości, jednak ich ustalenie odbywa się w oparciu o zastosowane elementy klejone, zastosowany klej i wiele innych czynników.

Wyróżnia się drewno klejone warstwowo lite "h" z jednorodnych elementów, oraz kombinowane "c" z elementów mieszanych.

Analogicznie jak drewno lite, również drewno klejone warstwowo wprowadzane do obrotu handlowego powinno mieć odpowiednie oznaczenia CE.

Dodatkowo norma wprowadza klasy emisji formaldehydu, ustalając klasę E1, gdzie emisja jest mniejsza lub równa niż 0,124mg na metr sześcienny powietrza, lub klasę E2 gdzie emisja jest większa niż 0,124mg na metr sześcienny powietrza, jednocześnie określając metodę badawczą.

W niektórych krajach można stosować tylko wyroby w klasie E1.

#### 4. Tabelaryczne zestawienie parametrów

Właściwość		Gatunki iglaste											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
<b>Właściwości wytrzymałościowe [N/mm<sup>2</sup>]</b>													
Zginanie	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Rozciąganie wzdłuż włókien	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Rozciąganie w poprzek włókien	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Ściskanie wzdłuż włókien	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Ściskanie w poprzek włókien	$f_{c,90,k}$	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Ścinanie	$f_{v,k}$	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
<b>Właściwości sprężyste [kN/mm<sup>2</sup>]</b>													
Średni moduł sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
5% kwantylu modułu sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,05}$	4,70	5,40	6,00	6,40	6,70	7,40	7,70	8,00	8,70	9,40	10,00	10,70
Średni moduł sprężystości w poprzek włókien	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Średni moduł odkształcenia postaciowego	$G_{mean}$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
<b>Gęstość [kg/m<sup>3</sup>]</b>													
Gęstość charakterystyczna	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Średnia gęstość	$\rho_{mean}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Klasy wytrzymałościowe drewna iglastego - litego według PN-EN 338

**Klasy drewna klejonego warstwowo i jego parametry mechaniczne wg normy PN-EN 14080:2013 (wersja angielska)**

		Klasa drewna klejonego (c - przekrój kombinowany, h - przekrój jednolity)														
		GL 20c	GL 20h	GL 22c	GL 22h	GL 24c	GL 24h	GL 26c	GL 26h	GL 28c	GL 28h	GL 30c	GL 30h	GL 32c	GL 32h	
Właściwości wytrzymałościowe, MPa																
Zginanie	$f_{m,g,k}$	20	20	22	22	24	24	26	26	28	28	30	30	32	32	
Rozciąganie	wzdłuż włókien	$f_{t0,g,k}$	15	16	16,0	17,6	17	19,2	19	20,8	19,5	22,3	19,5	24	19,5	25,6
	w poprzek włókien	$f_{t90,g,k}$	0,5													
Ściskanie	wzdłuż włókien	$f_{c0,g,k}$	18,5	20	20	22	21,5	24	23,5	26	24	28	24,5	30	24,5	32
	w poprzek włókien	$f_{c90,g,k}$	2,5													
Ścinanie	$f_{v,g,k}$	3,5														
Właściwości sprężyste, GPa																
Średni moduł sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,g,mean}$	10,4	8,4	10,4	10,5	11	11,5	12	12,1	12,5	12,6	13	13,6	13,5	14,2	
5% kwantyl modułu sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,g,05}$	8,6	7,0	8,6	8,8	9,1	9,6	10	10,1	10,4	10,5	10,8	11,3	11,2	11,8	
Średni moduł sprężystości w poprzek włókien	$E_{90,g,mean}$	0,3														
Średni moduł odkształcenia postaciowego	$G_{g,mean}$	0,65														
Gęstość, kg/m <sup>3</sup>																
Gęstość charakterystyczna	$\rho_{g,k}$	355	340	355	370	365	385	385	405	390	425	390	430	400	440	
Średnia gęstość	$\rho_{mean}$	355	370	390	410	400	420	420	445	420	460	430	480	440	490	
Każda z klas wytrzymałości drewna może być wykonana w dwóch przekrojach konstrukcyjnych. Oznaczenie "h" (od ang. homogenous) oznacza przekrój jednorodny - wszystkie warstwy przekroju posiadają tę samą wytrzymałość. Literka "c" (od ang. combined) oznacza przekrój z tarcicy o różnej wytrzymałości. Tarcica o mniejszej wytrzymałości występuje w środkowej strefie przekroju. Główne parametry dla układów belkowych, tj. wytrzymałość na zginanie są identyczne dla obydwóch rodzajów przekrojów. Pozostałe parametry dla przekroju niejednorodnego są minimalnie niższe. Różnicowanie przekrojów służy racjonalnemu wykorzystaniu tarcicy do produkcji drewna klejonego.																
Zaznaczona na pomarańczowo klasa GL 30c jest najwyższą dostępną powszechnie w Polsce.																

spinter.pl

Klasy wytrzymałościowe drewna klejonego - za spinter.pl





**Załączniki:  
raporty z badań  
jakościowych**



# **Słoma**

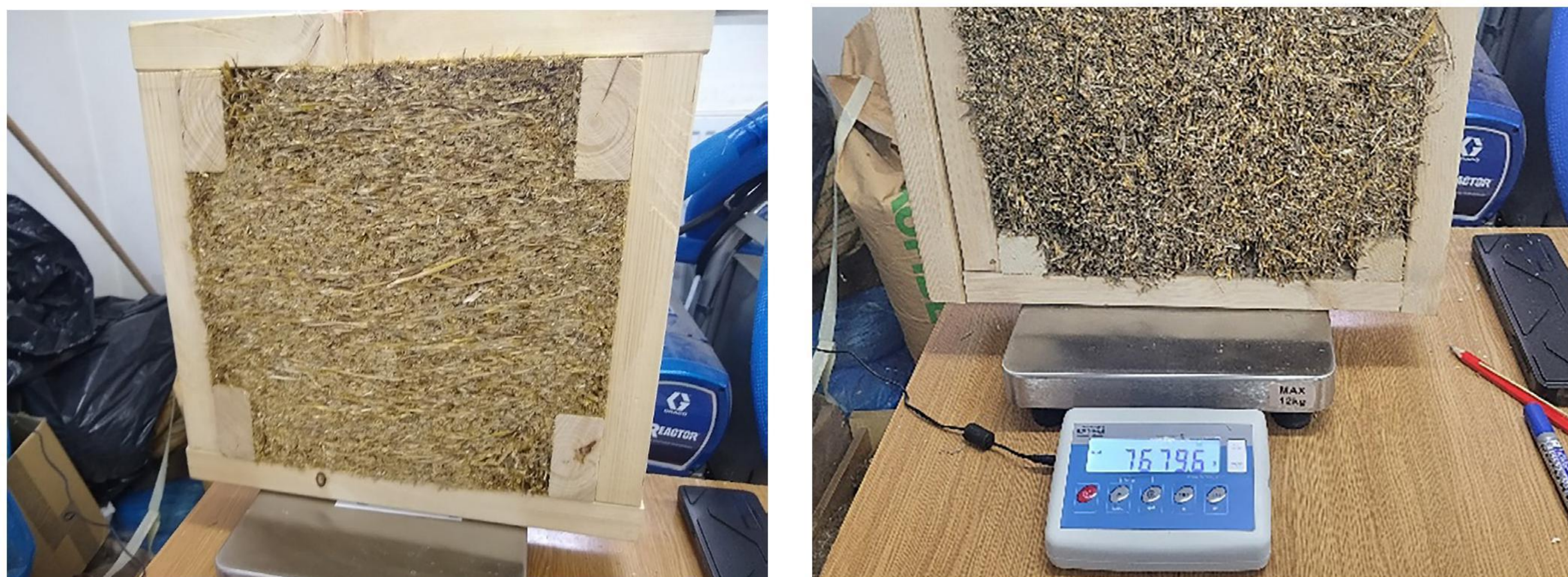
# Raport z badania jakościowego - słoma

## 1. Badania przewodzenia ciepła przez modelowe elementy ścienne wypełnione słomą

### 1.1 Materiały

Badaniu poddano łącznie 6 próbek modelowych elementów ściennych wypełnionych słomą. Trzy pochodziły od producenta A, trzy od producenta B. Każdy z elementów składał się z drewnianej ramki z usztywnieniem w narożnikach, wypełnienie zagęszczoną słomą. Grubość próbek od producenta A 155 mm od producenta B 165 mm. Na rysunku 1 pokazano panel słomiany dostarczony przez producenta A.

Próbki dostarczone przez producenta A charakteryzują się przeważnie równoległym ukierunkowaniem słomy w stosunku do przepływu ciepła. Próbki dostarczone przez producenta B charakteryzują się przeważnie równoległym ukierunkowaniem słomy w stosunku do przepływu ciepła, lecz z widocznymi miejscami gdzie ukierunkowanie jest mieszane.



Rys. 1 Panel drewniany wypełniony słomą, producent A po lewej i producent B po prawej stronie



Rys. 2 Panele drewniane wypełnione słomą w trakcie suszenia w temperaturze 70°C

Materiały do badań dostarczono w stanie wilgotnym. Zmierzona wilgotnościomierzem opornościowym wilgotność konstrukcji drewnianej nie przekraczała 11%. Po wykonaniu serii badań na próbkach zawilgoconych próbki umieszczono w komorze suszarniczej i przez 200 godzin suszono w temperaturze 70°C (rysunek 2). W tabeli 1 zestawiono wilgotność próbek przed i po badaniu w stanie wilgotnym oraz przed i po badaniu w stanie suchym. Próbki były ważone przy wykorzystaniu wagi precyzyjnej Radwag WLC 12/F1/R o dokładności pomiaru 0,2 g.

Producent	Próbka	Masa próbki (g)			
		Wilgotne		Suche	
		Przed pomiarem	po	Przed pomiarem	po
A	1	9178.8	9185.6	7940.8	7975
	2	9294.0	9301.6	8009	8051
	3	9300.6	9308.8	8017.8	8063.4
B	1	8558.0	8468.0	7015.8	7055.6
	2	9086.0	9066.0	7629.6	7679.2
	3	9064.2	9031.2	7459	7493

Tabela 1 Zestawienie masy próbek przed i po pomiarze w aparacie płytowym dla próbek w stanie wilgotnym oraz suchym

Po wysuszeniu zbadano gęstość słomy w próbkach nr 3 od obu producentów. Gęstość słomy w próbce producenta A 96,43 kg/m<sup>3</sup>, próbki producenta B 69,34 kg/m<sup>3</sup>.

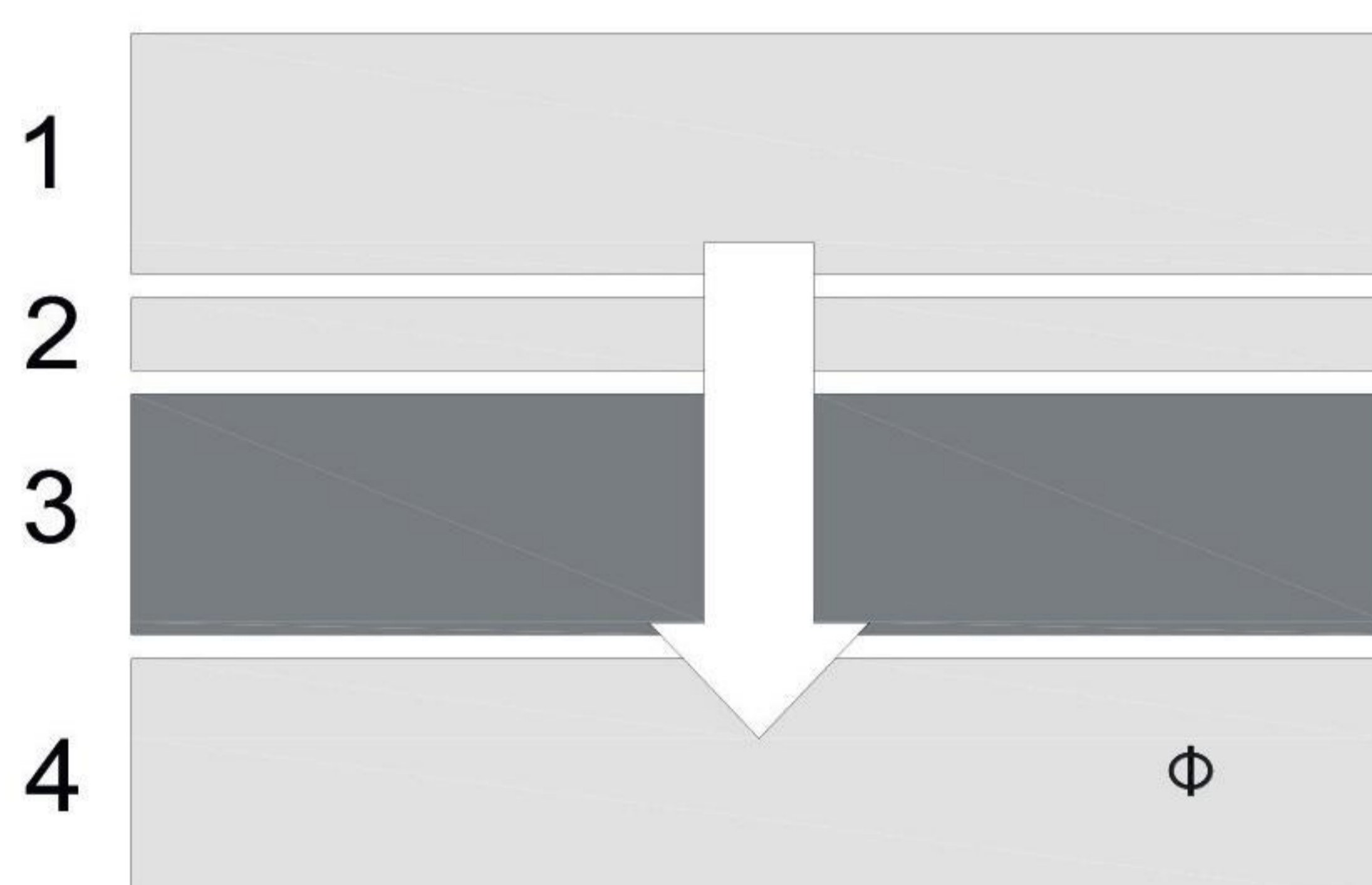
## 1.2 Metoda pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła

Badania przewodności cieplnej wykonano przy wykorzystaniu metody stacjonarnej przy użyciu miernika strumienia ciepła FOX 602 produkcji LaserComp. Działanie aparatu FOX 602 opiera się na jednowymiarowym prawie Fouriera opisanym zależnością (1):

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Gdzie:  $q$  – strumień ciepła ( $W/m^2$ ),  $\lambda$  – przewodność cieplna ( $W/mK$ ),  $dT/dx$  – gradient temperatury ( $K/m$ ).

Metoda z miernikiem strumienia cieplnego, polega na wytworzeniu wewnątrz jednorodnych próbek ograniczonych płaskimi równoległymi powierzchniami w postaci płyt, jednokierunkowej, stałej i jednorodnej gęstości strumienia cieplnego. Płaskie płyty ograniczające próbkę utrzymywane są w różnych wartościach temperatury. W każdej płycie urządzenia zamontowane są wysokoczułe przetworniki strumienia ciepła i termopary. Schemat ideowy urządzenia pokazano na rysunku 3. Dla każdej próbki wykonano 13 powtórzeń pomiarów.

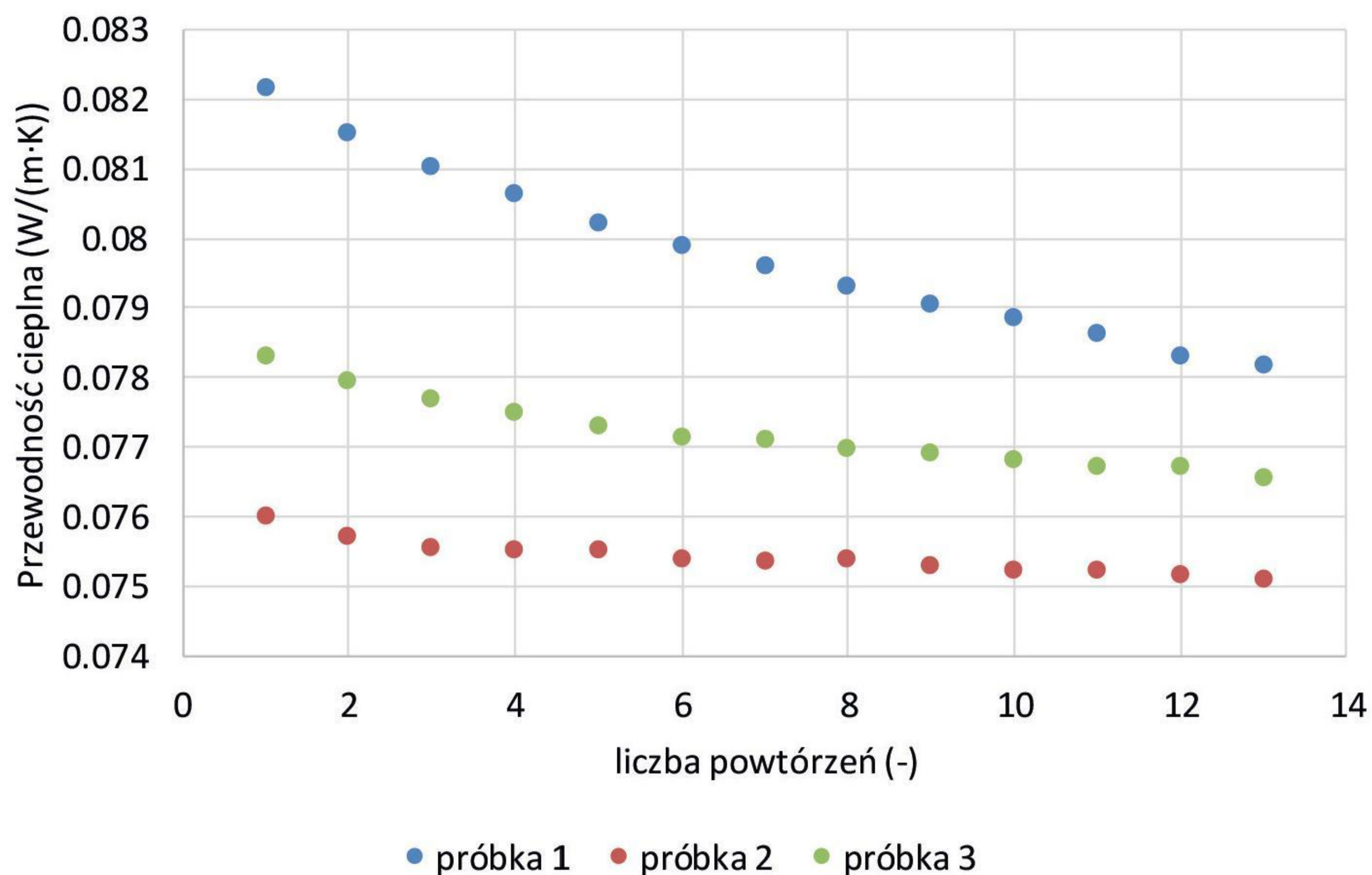


Rys. 3 Schemat budowy aparatu płytowego z wykorzystaną metodą miernika strumienia ciepła, 1 – płyta grzewcza, 2 – miernik strumienia ciepła, 3 – badana próbka, 4 – płyta chłodząca.

## 2. Wyniki pomiarów

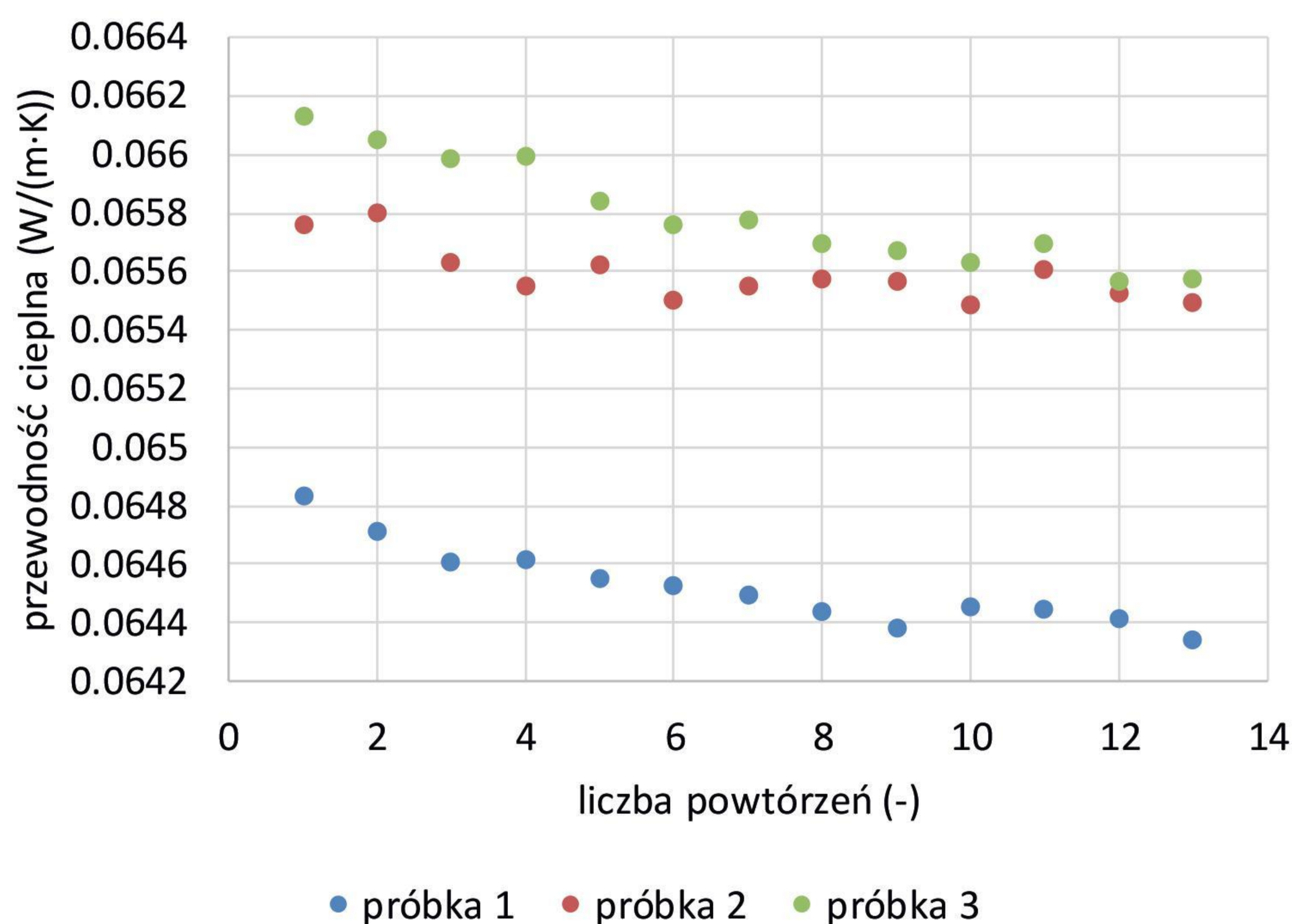
### 2.1 Producent A

Na rysunku 4 pokazano wyniki pomiarów przewodności cieplnej zestawione dla próbek słomianych producenta A w stanie wilgotnym. Próbki badano po kolei, próbka 1 w chwili pomiaru była najbardziej zawilgocona. Trend malejącej wartości współczynnika przewodzenia ciepła wraz z każdym powtórzeniem jest cechą charakterystyczną materiałów zawilgoconych. Na skutek termofiltracji front wilgoci przemieszcza się w kierunku chłodnej płyty aparatu HFM, przez co rozkład wilgoci w materiale staje się niejednorodny. Zmierzone wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla próbki 1 mieszczą się w przedziale 0,078-0,082  $W/(m \cdot K)$ , dla próbki 2 przedziale 0,075-0,076  $W/(m \cdot K)$ , dla próbki 3 w przedziale 0,077-0,078  $W/(m \cdot K)$ .



Rys. 4 Wyniki pomiarów przewodności cieplnej próbek słomianych w stanie wilgotnym, producent A

Na rysunku 5 pokazano wartości zmierzonych współczynników przewodzenia ciepła próbek wysuszonych dostarczonych przez producenta A. Widoczna jest znaczna redukcja uzyskanego współczynnika przewodzenia ciepła dla próbek wysuszonych. Próbka 1 osiąga wartość przewodności cieplnej na poziomie 0.064 W/(m·K), próbka 2 i 3 na poziomie 0.066 W/(m·K).

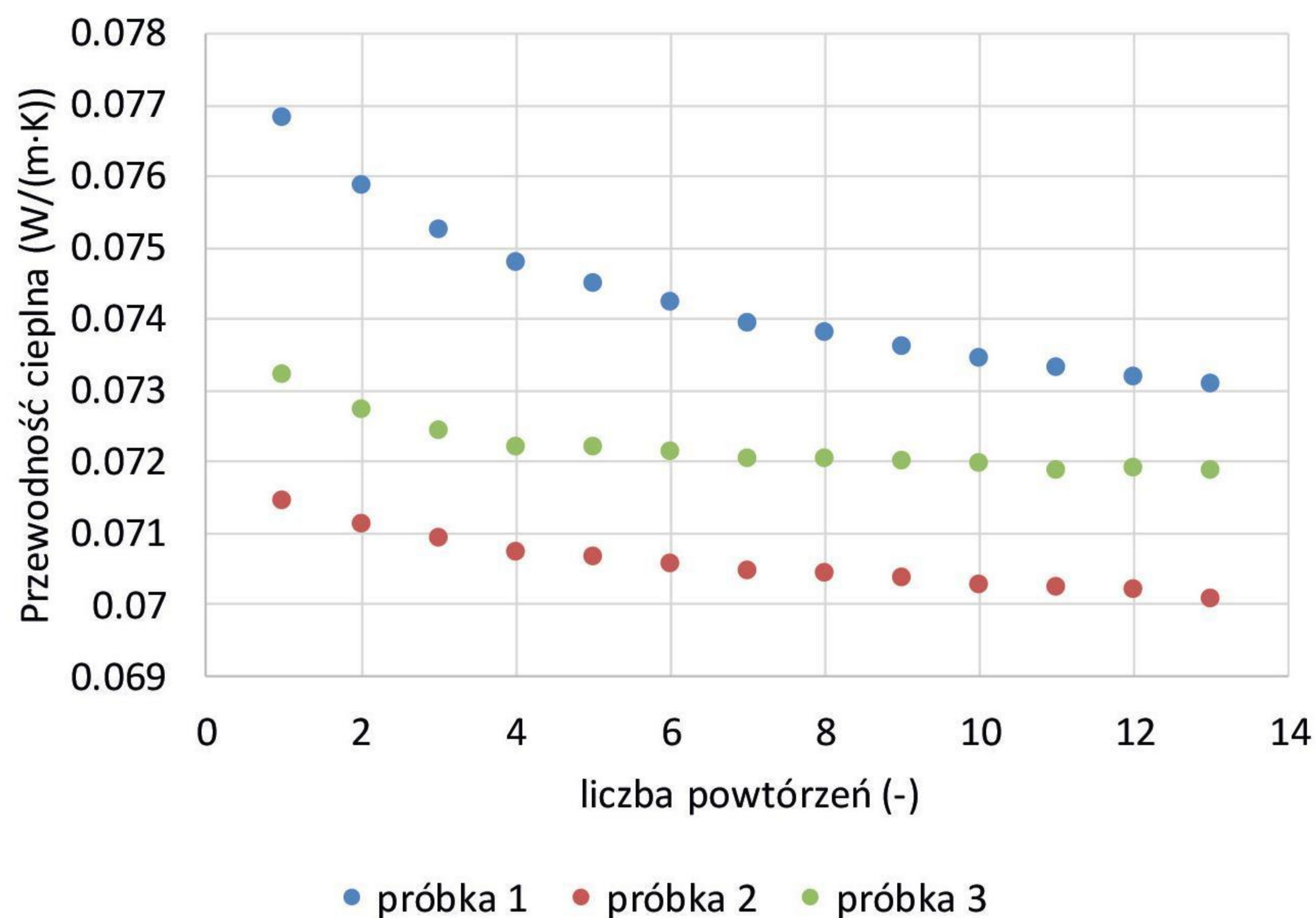


Rys. 5 Wyniki pomiarów przewodności cieplnej próbek słomianych w stanie suchym, producent A

## 2.2 Producent B

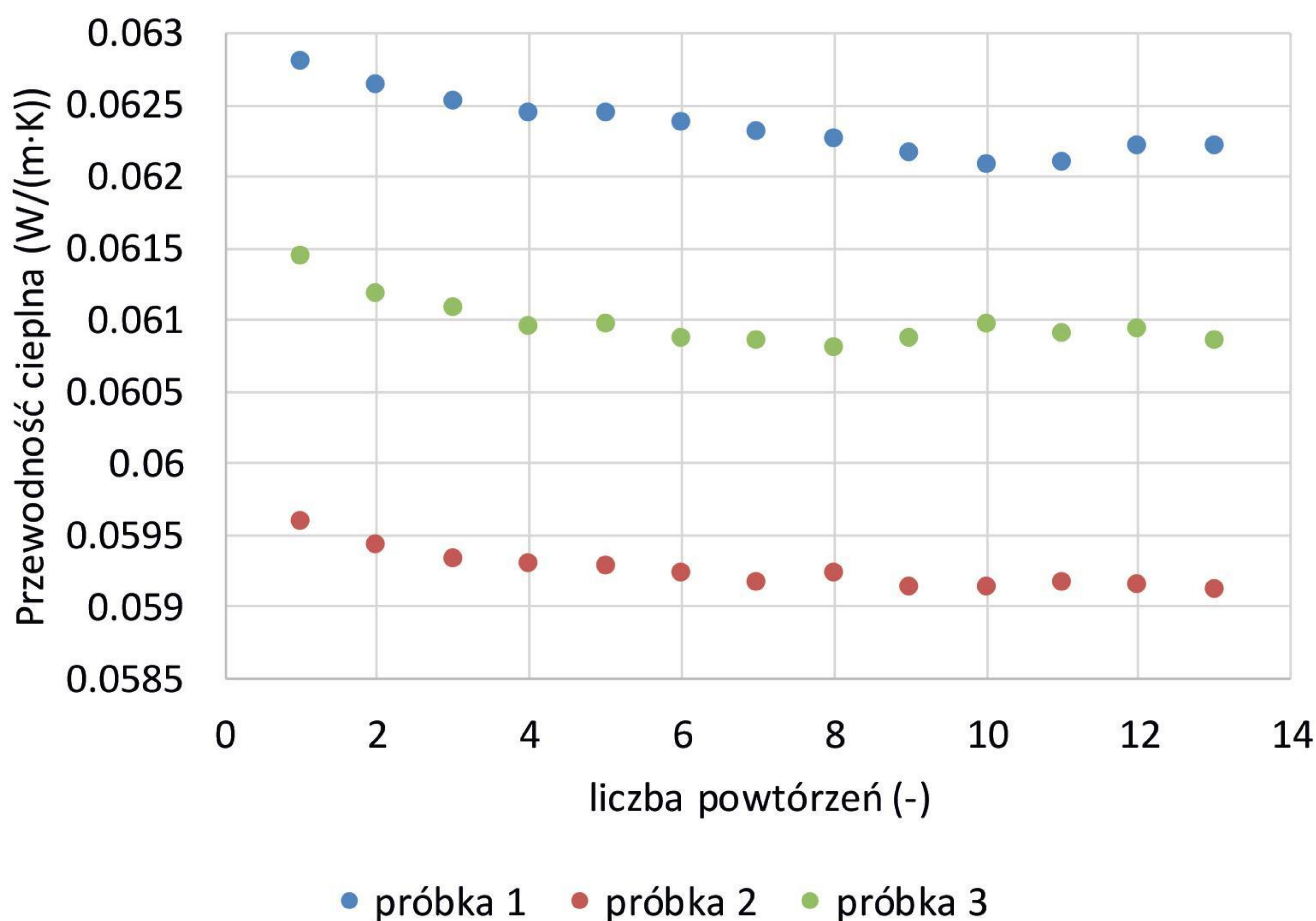
Na rysunku 6 pokazano wyniki pomiarów przewodności cieplnej zestawione dla próbek słomianych producenta B w stanie wilgotnym. Próbki badano po kolei, próbka 1 w chwili pomiaru była najbardziej zawilgocona. Trend malejącej wartości współczynnika przewodzenia ciepła wraz z każdym powtórzeniem, podobnie jak w materiale dostarczonej przez producenta a. Zmierzone

wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla próbki 1 mieszczą się w przedziale 0,073-0,077 W/(m·K), dla próbki 2 w przedziale 0,070-0,071 W/(m·K), dla próbki 3 w przedziale 0,072-0,073 W/(m·K).



Rys. 6 Wyniki pomiarów przewodności cieplnej próbek słomianych w stanie wilgotnym, producent B

Na rysunku 7 pokazano wartości zmierzonych współczynników przewodzenia ciepła próbek wysuszonych dostarczonych przez producenta B. Widoczna jest znaczna redukcja uzyskanego współczynnika przewodzenia ciepła dla próbek wysuszonych. Próbka 1 osiąga wartość przewodności cieplnej na poziomie 0.063 W/(m·K), próbka 2 na poziomie 0.061 W/(m·K), a próbka 3 na poziomie 0.059 W/(m·K).



Rys. 7 Wyniki pomiarów przewodności cieplnej próbek słomianych w stanie suchym, producent B

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów próbek dostarczonych przez obu producentów, można zauważyć, że początkowe zawilgocenie w jakim znajdowały się próbki przyczyniło się do wzrostu o ponad 16% wartości zmierzonego współczynnika przewodzenia ciepła. Widoczne na wykresach jest, że z każdym powtórzeniem pomiaru dla próbek wilgotnych zmierzona wartość przewodności cieplnej maleje, co jest efektem zachodzącej termodyfuzji (przesuwanie frontu wilgotnościowego w kierunku chłodnej płyty urządzenia).

Próbki słomiane w których źdźbła są uszeregowane głównie równoległe do kierunku strumienia ciepła osiągają przewodność w stanie suchym na poziomie 0.064-0.066 W/(m·K). Próbki w których chociaż część źdźbeł ułożona jest prostopadle do kierunku strumienia ciepła osiągają przewodność na poziomie 0,059-0,063 W/(m·K).

Należy mieć na uwadze, że w warunkach eksploatacyjnych wilgotność słomy będzie zależała od warunków otoczenia i z uwagi na naturalne pochodzenie surowca, będzie powodowała wzrost przewodności cieplnej.

### 3. Wnioski z przeprowadzonych badań

**Na podstawie przeprowadzonych badań można postawić następujące wnioski:**

- przewodność cieplna suchych próbek mieści się w zakresie 0,064-0,066 W/(m·K) dla materiału dostarczonego przez producenta A oraz 0,059-0,062 W/(m·K) dla materiału od producenta B,
- rozbieżność wyników bierze się z różnic gęstości między badanymi próbkami,
- można przyjąć, że dla próbek o gęstości suchej słomy ok. 69 kg/m<sup>3</sup> średnia przewodność cieplna równa jest 0,061 W/(m·K), natomiast dla 96 kg/m<sup>3</sup> średnia przewodność cieplna równa jest 0,065 W/(m·K),
- próbki w stanie naturalnie wilgotnych charakteryzowały się wyższą przewodnością cieplną, dla materiałów od producenta A było to 0,075-0,078 W/(m·K) dla materiału od producenta B 0,070-0,073 W/(m·K),
- zarówno dla warunków naturalnie wilgotnych jak i suchych próbki o niższej gęstości cechowała mniejsza przewodność cieplna.





# Konoplit

# Raport z badania jakościowego - konoplit

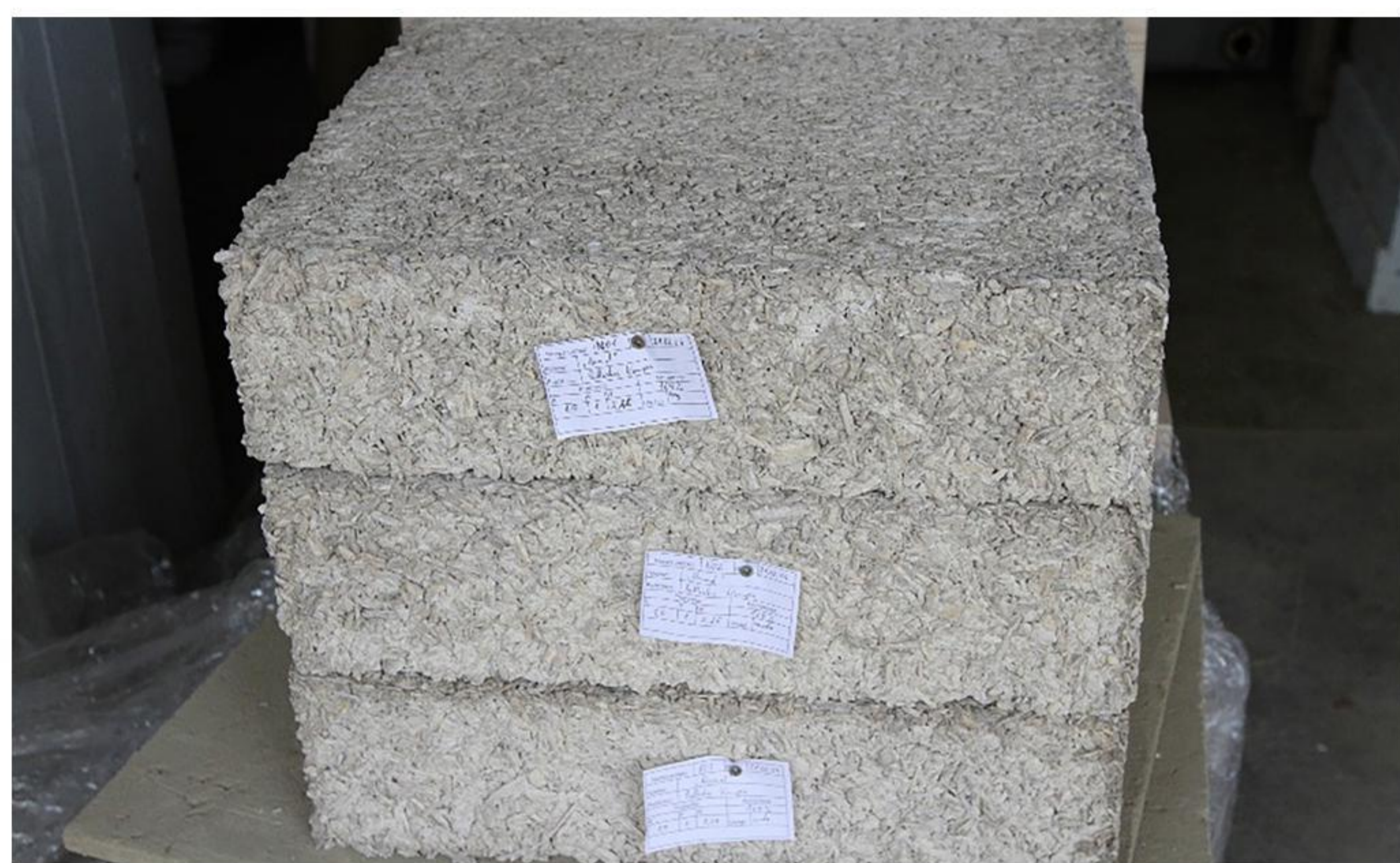
## 1. Badania przewodzenia ciepła przez próbki wykonane z hempcrete

### 1.1 Materiały

Badaniu poddano płyty wykonane w technologii hempcrete. Dostawca oznaczył je NO1, NO2, NO3. Wymiary płyt podano w tabeli 1

Próbka	Weidth (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)
NO1	450,0	460,0	125,0
NO2	455,0	450,0	125,0
NO3	450,0	448,0	123,0

Próbki dostarczono w stanie wilgotnym, do badań przewodzenia ciepła jak również sorpcji przystąpiono po 28 dniach od daty ich wytworzenia. Na rysunku 1 pokazano badane próbki.



Rys. 1 Płyty wykonane z hempcrete



Rys. 2 Płyty hempcrete w trakcie suszenia w temperaturze 80°C

Próbki były ważone przy wykorzystaniu wagi precyzyjnej Radwag WLC 12/F1/R o dokładności pomiaru 0,2 g.

Próbka	Masa próbki (g)				Wilgotność próbek w stanie powietrzno-wilgotnym(%)
	Wilgotne		Suche		
	Przed pomiarem	po	Przed pomiarem	po	
NO1	9769,4	9758,8	8027,4	8061,0	21,70
NO2	9306,8	9308,4	8155,6	8240,0	14,12
NO3	9398,6	9395,4	8198,6	8254,4	14,64

Tabela 1 Zestawienie masy próbek przed i po pomiarze w aparacie płytowym dla próbek w stanie wilgotnym oraz suchym

Dodatkowo, Dostawca przekazał hempcrete w postaci drobin, które wykorzystano do badania sorpcji. Próbki do badań sorpcji wysuszono w suszarce laboratoryjnej Masę próbek ważono przy użyciu wagi precyzyjnej Radwag PS 1000.X2 dokładności 0,001 g.

## 1.2 Metody badawcze

### 1.2.1 Badania współczynnika przewodzenia ciepła

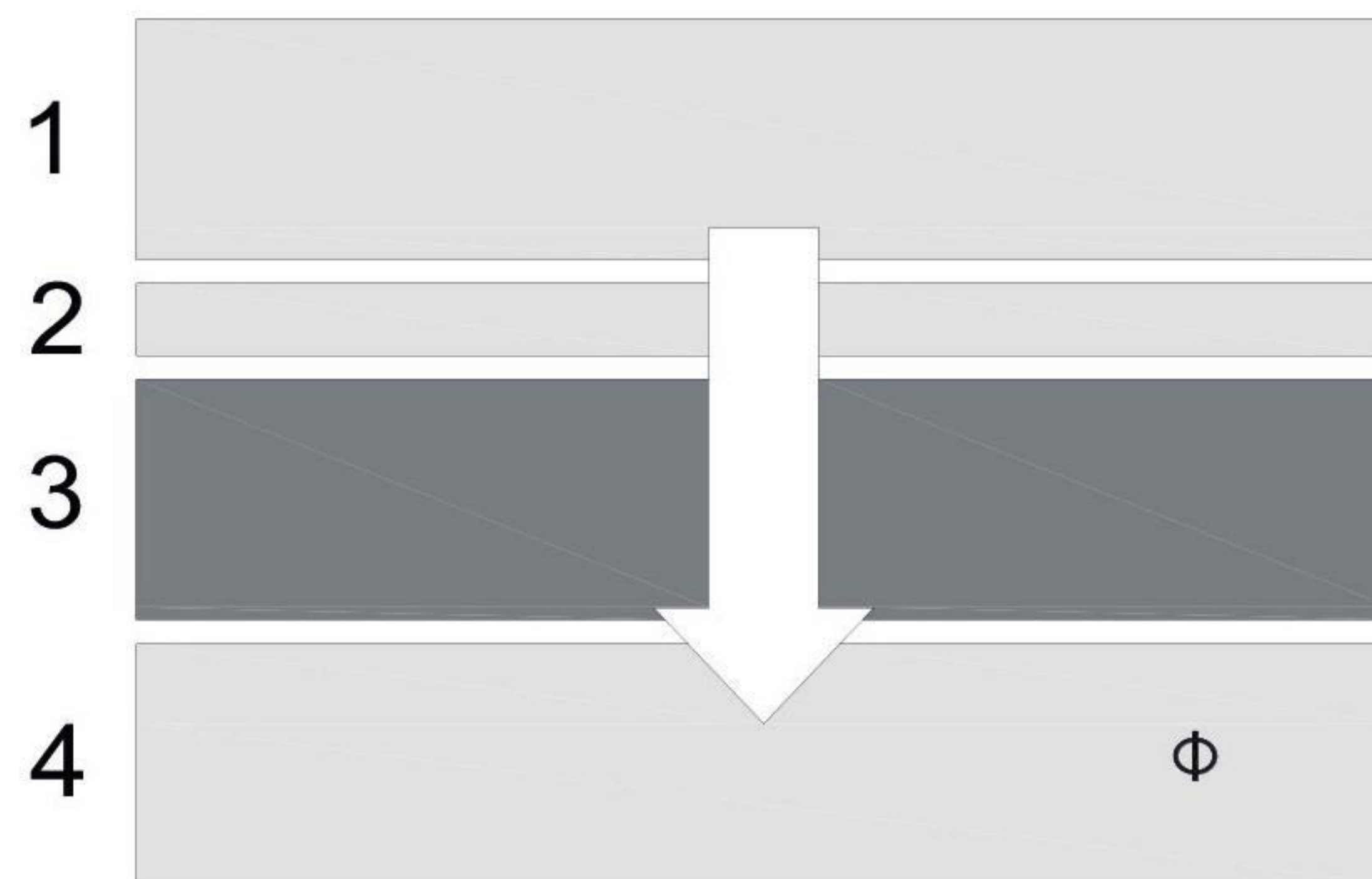
Badania przewodności cieplnej wykonano przy wykorzystaniu metody stacjonarnej przy użyciu miernika strumienia ciepła FOX 602 produkcji LaserComp. Działanie aparatu FOX 602 opiera się na jednowymiarowym prawie Fouriera opisanym zależnością (1):

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Gdzie:  $q$  – strumień ciepła ( $W/m^2$ ),  $\lambda$  – przewodność cieplna ( $W/mK$ ),  $dT/dx$  – gradient temperatury ( $K/m$ ).

Metoda z miernikiem strumienia cieplnego, polega na wytworzeniu wewnątrz jednorodnych próbek ograniczonych płaskimi równoległymi powierzchniami w postaci płyt, jednokierunkowej, stałej i jednorodnej gęstości strumienia cieplnego. Płaskie płyty ograniczające próbkę utrzymywane są w różnych wartościach temperatury. W każdej płycie urządzenia zamontowane są wysokoczułe przetworniki strumienia ciepła i termopary. Schemat ideowy urządzenia pokazano na rysunku 4. Dla każdej próbki wykonano 13 powtórzeń pomiarów. Założenia ogólne zrealizowano w oparciu o polską normę PN-EN 12667:2002

Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego. Wyroby o dużym i średnim oporze cieplnym.



Rys. 4 Schemat budowy aparatu płytowego z wykorzystaną metodą miernika strumienia ciepła, 1 – płyta grzewcza, 2 – miernik strumienia ciepła, 3 – badana próbka, 4 – płyta chłodząca.

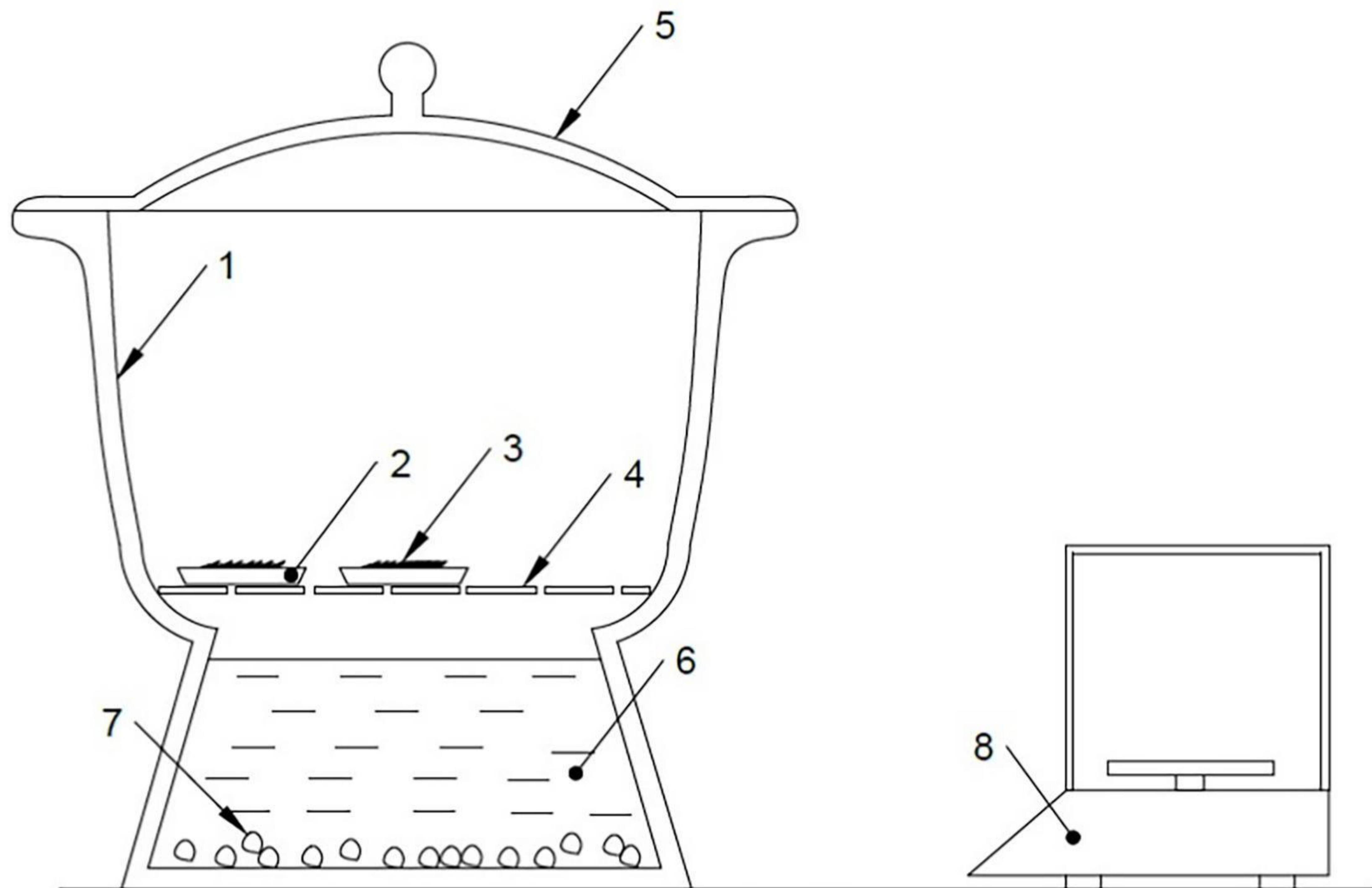
Zdjęcie próbki hempcrete umieszczone w komorze pomiarowej aparatu płytowego FOX 602, wykonane przed domknięciem płyty, pokazano na rysunku 5.



Rys. 5 Próbkę hempcrete umieszczona w komorze pomiarowej aparatu płytowego FOX 602

### 1.2.2 Badania sorpcyjnego wchłaniania wilgoci materiału

Badania zrealizowano w oparciu o normę PN-EN ISO 12571:2022-04 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe materiałów i wyrobów budowlanych -- Określanie właściwości sorpcyjnych. Badania wykonano przy pomocy eksykatorów, tj. szczelnie zamkniętych naczyń w których utrzymywany był stały poziom zawilgocenia zależny od wykorzystanego roztworu solnego znajdującego się na dnie poniżej badanych próbek. Stałą wartość wilgotności w naczyniu zapewniały mieszadła magnetyczne. Raz na dobę wykonywano kontrolny pomiar masy próbek określając w ten sposób sorpcyjne pochłanianie wilgoci przez badany materiał w zależności od poziomu wilgotności względnej otoczenia. Pomiary masy wykonano przy wykorzystaniu wagi precyzyjnej Radwag AS310/X o dokładności pomiarowej 0,1 mg. Schemat ideowy przeprowadzonych badań wchłaniania wilgoci (sorpcyjności) przedstawiono na rysunku 6. Wilgotność względną powietrza utrzymywaną ponad roztworami solnymi podano w tabeli 2. Badania sorpcji wykonano w każdym punkcie wilgotnościowym dla dwóch próbek materiału. Pomiary trwały 3 tygodnie aż do ustabilizowania masy próbek.



Rys. 6 Stanowisko do badania wchłaniania wilgoci przez materiały sypkie. 1 – eksykator, 2 – perforowana taca na której umieszczony jest badany materiał w postaci sypkiej, 3 – badany materiał, 4 – siatka akrylowa o dużych oczkach, 5 – pokrywa eksykatora, 6 – roztwór solny, 7 – cząsteczki soli świadczące o wytworzeniu roztworu przesyconego, 8 – precyzyjna waga laboratoryjna.

Roztwór solny	Wzór	Wilgotność względna powietrza (%)
Chlorek magnezu	$MgCl_2$	32
Azotan magnezu	$Mg(NO_3)_2$	54
Chlorek sodu	$NaCl$	75
Azotan potasu	$K(NO_2)_3$	93
Woda zdemineralizowana	$H_2O$	100

Tabela 2 Wilgotność względna powietrza ponad roztworami solnymi

Na rysunku 7 pokazano próbki hempcrete w eksykatorze.

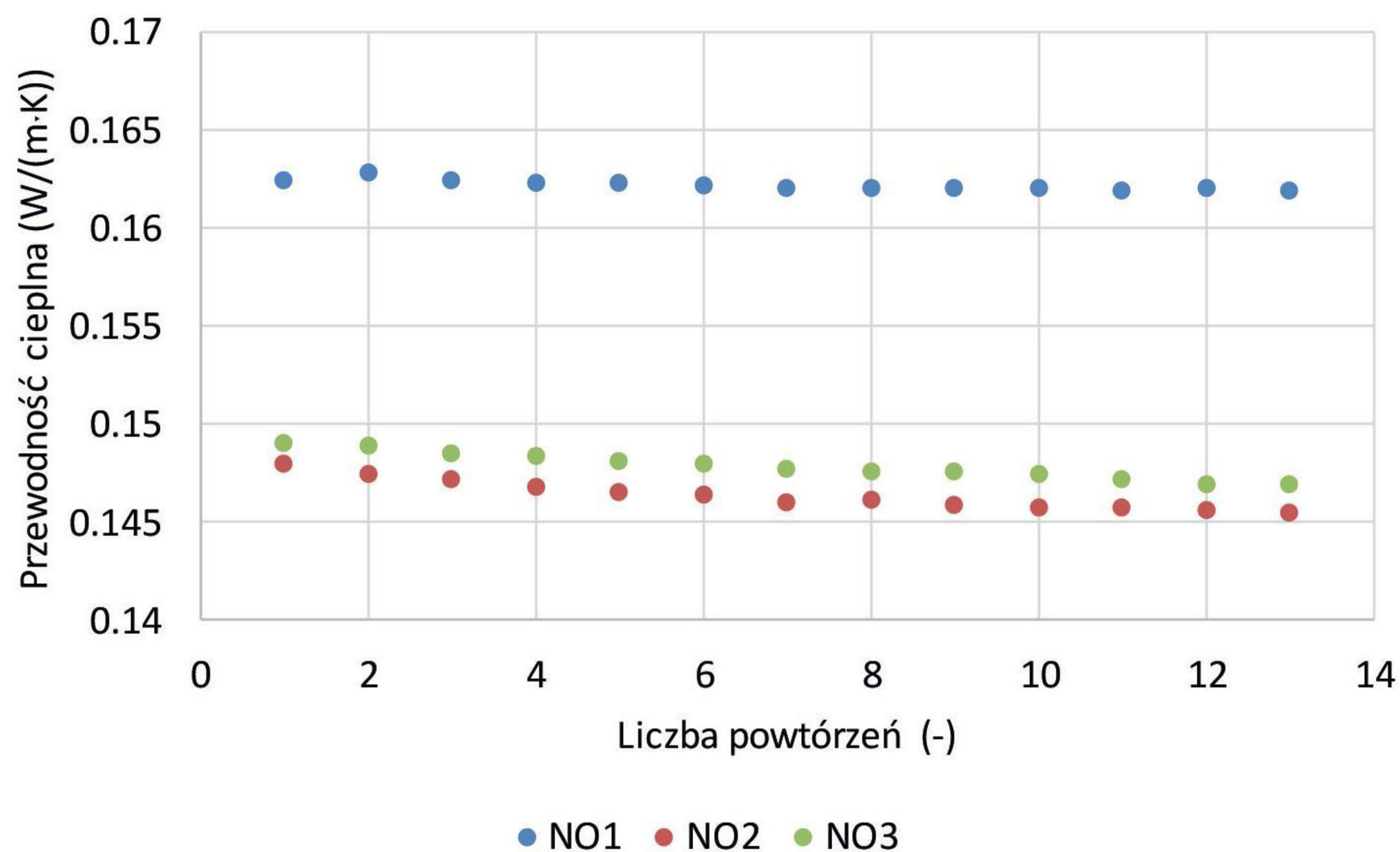


Rys. 7 Próbki hempcrete umieszczone na tackach w eksykatorze

## 2. Wyniki pomiarów

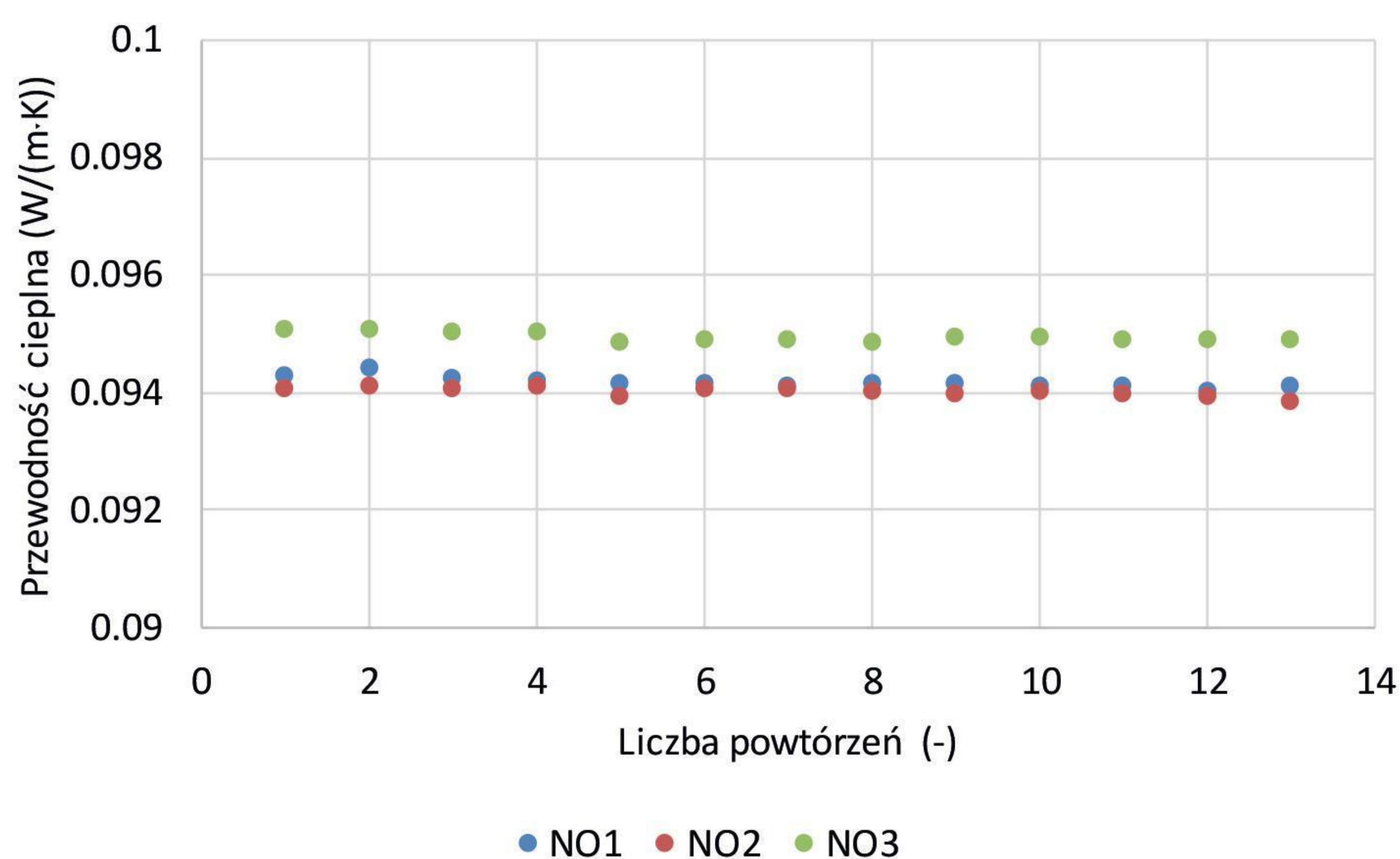
### 2.1 Przewodność cieplna

Na rysunku 8 pokazano wyniki pomiarów przewodności cieplnej zestawione dla płyt w stanie powietrzno-wilgotnym. Próbka NO1 cechująca się największą wilgotnością osiągnęła w badaniu również najwyższy współczynnik przewodzenia ciepła rzędu 0,162 W/(m·K). Próbki NO2 i NO3 o mniejszej i zbliżonej do siebie wilgotności osiągnęły współczynniki rzędu 0,145-0,147 W/(m·K).



Rys. 8 Wyniki pomiarów przewodności cieplnej próbek wilgotnych

Na rysunku 9 pokazano wyniki pomiarów przewodności cieplnej zestawione dla płyt po wysuszeniu. Próbki wysuszone wyraźnie wykazują niższą przewodność niż wilgotne. Próbka NO1 i NO2 osiągnęły niemal identyczne wyniki rzędu 0,094 W/(m·K), próbka NO3 rzędu 0,095 W/(m·K).



Rys. 9 Wyniki pomiarów przewodności cieplnej próbek wysuszonych

## 2.2 Sorpcyjne wchłanianie wilgoci

W tabeli 3 zestawiono wyniki sorpcyjnego wchłaniania wilgoci przez próbki hempcrete. Prezentowane są wartości średnie. Wraz z rosnącą wilgotnością otoczenia wzrasta poziom wilgotności sorpcyjnej próbek. Przy wilgotnościach 32 i 54% różnice są niewielkie, wilgotność sorpcyjna uzyskana w środowisku 75% jest już większa. Dla wartości 93 znacznie większa, dla 100% wilgotności niemal dwukrotnie większa niż dla 93%. Oznacza to, że materiał charakteryzuje się dużą pochłaniałością wilgoci z otoczenia, powyżej 75% wartości są duże.

Wilgotność otoczenia (%)	Wilgotność sorpcyjna (%)
32	3.98
54	4.24
75	7.00
93	11.42
100	21.55

Tabela 3 Wilgotność sorpcyjna wchłaniana przez próbki

## 3. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że dostarczone próbki hempcrete po wysuszeniu osiągają przewodność cieplną na poziomie 0.095 W/(m·K). Próbki dojrzewające w stanie wilgotnym cechowała przewodność cieplna do 0,162 W/(m·K) przy wilgotności masowej ok. 21.7 % (co odpowiada umieszczeniu materiału w środowisku o RH ok. 100%) i 0.147 W/(m·K) dla wilgotności ok. 14.5% (co odpowiada umieszczeniu materiału w środowisku o RH ok. 95%). Na podstawie badań sorpcyjnego zawilgocenia można zauważyć, że materiał ma zdolności silnie higroskopijnie, od 75% RH otaczającego środowiska przyrost wilgotności jest duży. Analizując równoległe wyniki badań przewodności cieplnej oraz wilgotności sorpcyjnej zaleca się przyjmowanie do obliczeń strat cieplnych wartości  $\lambda$  odpowiadającej warunkom eksploatacyjnym (do RH=95%), wg krzywej (1)

$$\lambda=0.0526x+0.095 \quad (1)$$

gdzie x – wilgotność otoczenia wyrażona jako ułamek.

## 4. Wnioski z przeprowadzonych badań

**Na podstawie przeprowadzonych badań można postawić następujące wnioski:**

- przewodność cieplna suchych próbek mieści się w zakresie 0.094-0.096 W/(m·K),
- przewodność cieplna próbek w stanie naturalnej wilgotności mieści się w zakresie 0,145-0,148 W/(m·K) dla próbek o wilgotności objętościowej ok. 14,5% i 0,162 W/(m·K) dla próbki o wilgotności ok. 21,7%,
- badany materiał charakteryzuje się wysoką nasiąkliwością sorpcyjną, do 21,55% w otoczeniu 100%, do 7,00% w typowych warunkach eksploatacyjnych użytkowania (do 75% RH),
- wpływ zawilgocenia na przewodność cieplną jest istotny.



# Beton konopny



# Sprawozdanie z wykonania próbek oraz badania betonu konopnego (Hempcrete)

## 1. Skład mieszanek

Na podstawie zebranej literatury oraz wywiadu środowiskowego wybrano trzy składy różniące się między sobą składem spoiwa i proporcją spoiwo/paździerz/woda. Wybrane składy są przedstawione w tabeli:

Nazwa serii	Skład spoiwa	Proporcje (wagowo)		
		Spoivo	Paździerz	Woda
Normal	80% Wapno hydratyzowane CL 90S, 20% Wapno hydrauliczne NHL5	1,5	1	2,25
Termo	70% Wapno hydratyzowane CL 90S, 15% Wapno hydrauliczne NHL5, 15% Metakaolinit	1,4	1	2,33
Cegła	60% Wapno hydratyzowane CL 90S, 30% Cement CEM II/B-M 32,5 R, 10% Metakaolinit	2,2	1	2,64

## 2. Materiały

Jako kruszywo wybrano paździerz konopny wyprodukowany w Polsce. Paździerz posiada uziarnienie 5-35 mm, chociaż zdarzają się kawałki mające ponad 5 cm. Poziom zapyleńia poniżej 2%. Wykorzystany paździerz jest dobrze odwłókniony, choć zdarzają się pojedyncze włókna. Kolor niektórych cząstek jest szary lub brązowy, większość ma zabarwienie beżowe. Ciemne odcienie są spowodowane procesem produkcji, która polegała na roszaniu ściętych roślin. Wilgotność paździerzy wynosiła 20%.

Ze względu na brak na rynku polskim spoiwa dedykowanego betonowi konopnemu zdecydowano się stworzyć mieszanki na bazie szeroko dostępnych spoiw.



#### **Do mieszanki spoiwa wykorzystano:**

- Wapno hydratyzowane CL 90S
- Wapno hydrauliczne NHL5
- Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/B-M 32,5 R
- Metakaolinit LO5

### **3. Wykonanie próbek**

Pierwszego dnia wykonano kilka próbnych zarobów w celu ustalenia odpowiedniej ilości wody. Ponieważ nie ma jasnej formuły ile wody jest potrzebne do wyprodukowania betonu konopnego należy się kierować metodą organoleptyczną oraz przez tzw. metodę „kulki i palca”. Przetestowano również mieszalnik i metodę mieszania składników aby jak najbardziej odpowiadała ona warunkom na budowie. W pierwszej kolejności dodawano do mieszalnika paździerz, następnie część wody i reszta spoiwa z wodą. Ze względu na długie cząstki paździerza i trudność przy mieszaniu w mieszalniku samych paździerzy zmodyfikowano przez stopniowe dodawanie paździerzy i wody.

#### **Proces przygotowywania próbek wygląda następująco:**

- 1.** Odważenie paździerzy, składników spoiwa, oraz zakładanej ilości wody.
- 2.** Wymieszanie ze sobą składników spoiwa
- 3.** Wsypanie połowy paździerzy do mieszalnika
- 4.** Dodanie ok. 1/4 wody i włączenie mieszalnika
- 5.** Dodanie reszty paździerzy i 1/4-1/3 wody i kontynuowanie mieszania
- 6.** Wsypanie spoiwa oraz reszty minimalnej ilości wody (2x masa paździerzy). Po zmoczeniu paździerzy wodą i pokryciu ich spoiwem mieszanka nabierała lepszej urabialności. Suche paździerze łatwo się zbijały i tamowały proces mieszania.
- 7.** Kontynuowanie mieszania przez 3-5 minut.



Rysunek 2. Mieszanie składników w mieszalniku z pionową osią obrotu

**8.** Sprawdzanie konsystencji mieszanki metodą „kulki i palca” oraz organoleptycznie i dodanie w razie potrzeby dodatkowej wody. Proces mieszania był kontynuowany aż wszystkie cząstki paździerza pokryły się spoiwem. Zauważono, że im dłużej trwa proces mieszania tym paździerze wchłaniają więcej wody i mieszanka staje się bardziej sucha. Z tego powodu starano się ograniczyć czas mieszania składników do minimum.



Rysunek 3. Sprawdzanie konsystencji metodą „kulki i palca”

**9.** Sprawdzanie w formie 30x30x8 cm „luźnego zasypu” czyli ciężaru mieszanki w stanie nie ubitym. Służyło to określeniu stopnia kompresji jaki jest stosowany w standardowej metodzie szalunkowej i powtórzenia takiej samej w kolejnych próbkach i mieszankach. Sprawdzono ile mieszanki potrzeba do ułożenia jednej warstwy w formie 30x30x8 cm i w porównaniu do luźnego zasypu określono **poziom kompresji najbardziej odpowiadający układaniu betonu konopnego w szalunku na poziomie 165%**. Oznacza to, że próbka miała masę równą 165% masy luźnego zasypu.



Rysunek 4. Sprawdzanie „luźnego zasypu”

**10.** Układanie mieszanki w formach do przewodności cieplnej w 4 warstwach, do wytrzymałości na ścislenie w 2 warstwach. Najpierw jest odważana odpowiednia ilość mieszanki na jedną warstwę. Następnie wsypywana jest do formy i ubijana do zakładanej wysokości formy. Po każdej warstwie „zruszanie” wierzchu poprzedniej warstwy w celu lepszego przewiązania się kolejnych warstw.



Rysunek 6. Formowanie próbek na wytrzymałość na ściskanie

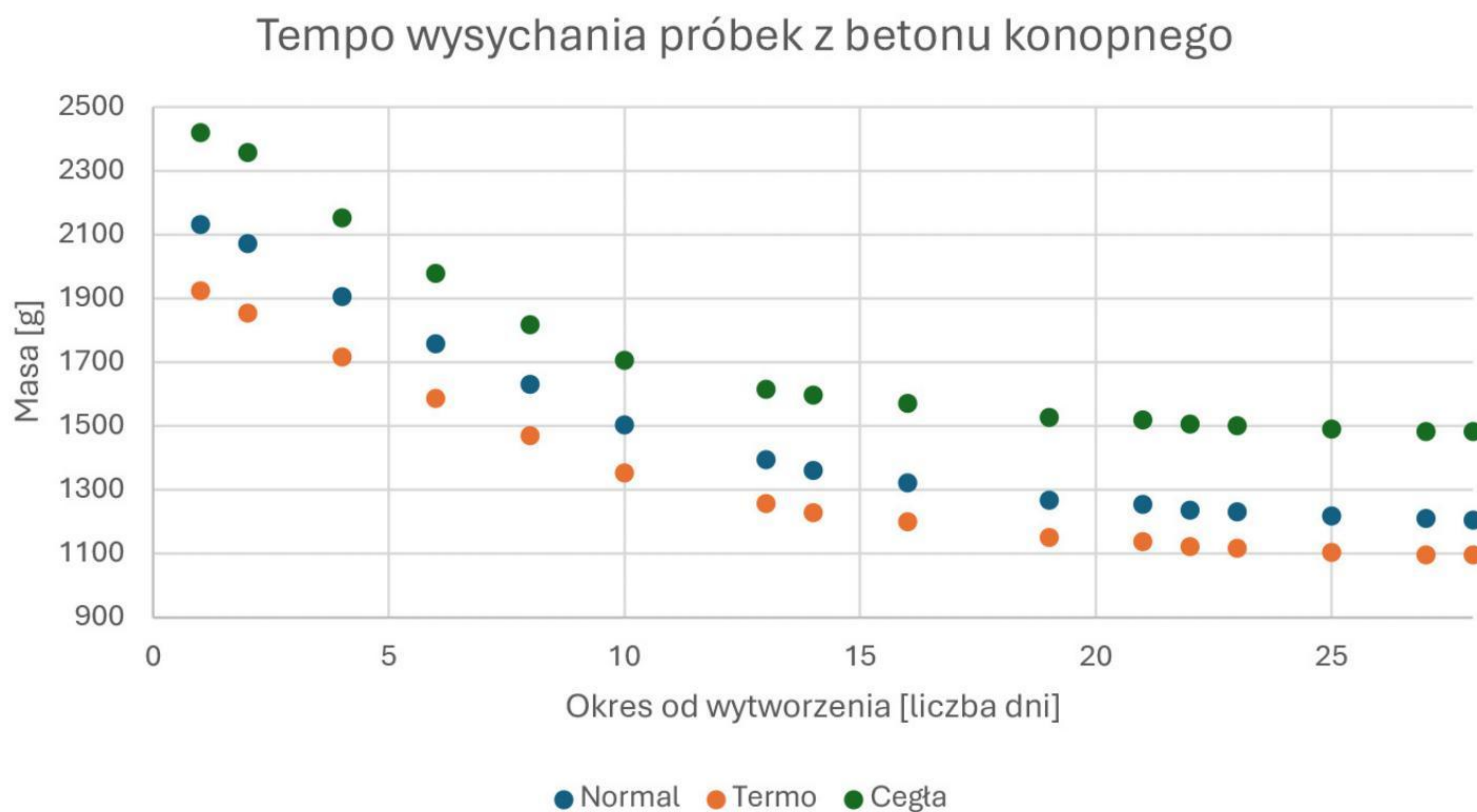
**11.** Próbki o wymiarach 45x45x12 cm zostały rozformowane zaraz po wykonaniu. Próbki o wymiarach 30x30x8 cm oraz 15x15x15 cm zostały rozformowane po około 24 godzinach.

**12.** Próbki były sezonowane w komorze klimatycznej w której temperatura była na poziomie  $20 \pm 2$  °C. Wilgotność w pierwszych dniach kiedy próbki były świeże wilgotność powietrza utrzymywała się na poziomie  $70 \pm 10\%$  RH, po około 5 dniach wilgotność się ustabilizowała i przez cały czas miała wartość  $50 \pm 10\%$  RH.

W celu pomiaru tempa wysychania próbek, ważono masę reprezentacyjnej próbki z każdej serii. Poniższy wykres przedstawia zależność masy próbki od czasu.



Rysunek 7. Sezonowanie próbek w komorze klimatycznej



Rysunek 8. Tempo wysychania próbek z betonu konopnego

## 4. Badanie przewodności cieplnej

Pomiary współczynnika przewodności cieplnej zostały przeprowadzone w stanie ustabilizowanym metodą „hot plate” w aparacie płytowym FOX 314. Różnica temperatur pomiędzy górną i dolną płytą była 20 K, a temperatura próbki 10°C. Przepływ ciepła odbywał się w kierunku prostopadłym do kierunku formowania, z dołu do góry. Taki kierunek badania odwzorowuje przepływ ciepła w ścianie w technologii szalunkowej. Próbki przed zbadaniem zostały wysuszone w temperaturze 90 °C do stałej masy. Wartość średnią współczynnika przewodzenia ciepła określono na podstawie wyników dla dwóch próbek.



Rysunek 9. Badanie przewodności cieplnej w aparacie płytowym

## 5. Badanie wytrzymałości na ściskanie

Badania wytrzymałości na ściskanie zostały przeprowadzone na maszynie elektromechanicznej Instron 3382 do badań statycznych o zakresie do 100 kN i klasie 0,5. Próbki badano w kierunku równoległym do kierunku formowania co odpowiada pracy materiału w ścianie w technologii szalunkowej. Prędkość przemieszczenia głowicy ściskającej wynosił 3 mm/minutę, a badanie przerwano przy 20% odkształcenia. Jako wartość wytrzymałości na ściskanie przyjęto wartość naprężenia dla 5% odkształcenia. Wartość średnia została przyjęta na podstawie 3 do 5 próbek na serię.



Rysunek 10. Badanie wytrzymałości na ściskanie. Widok próbki przy 20% odkształcenia

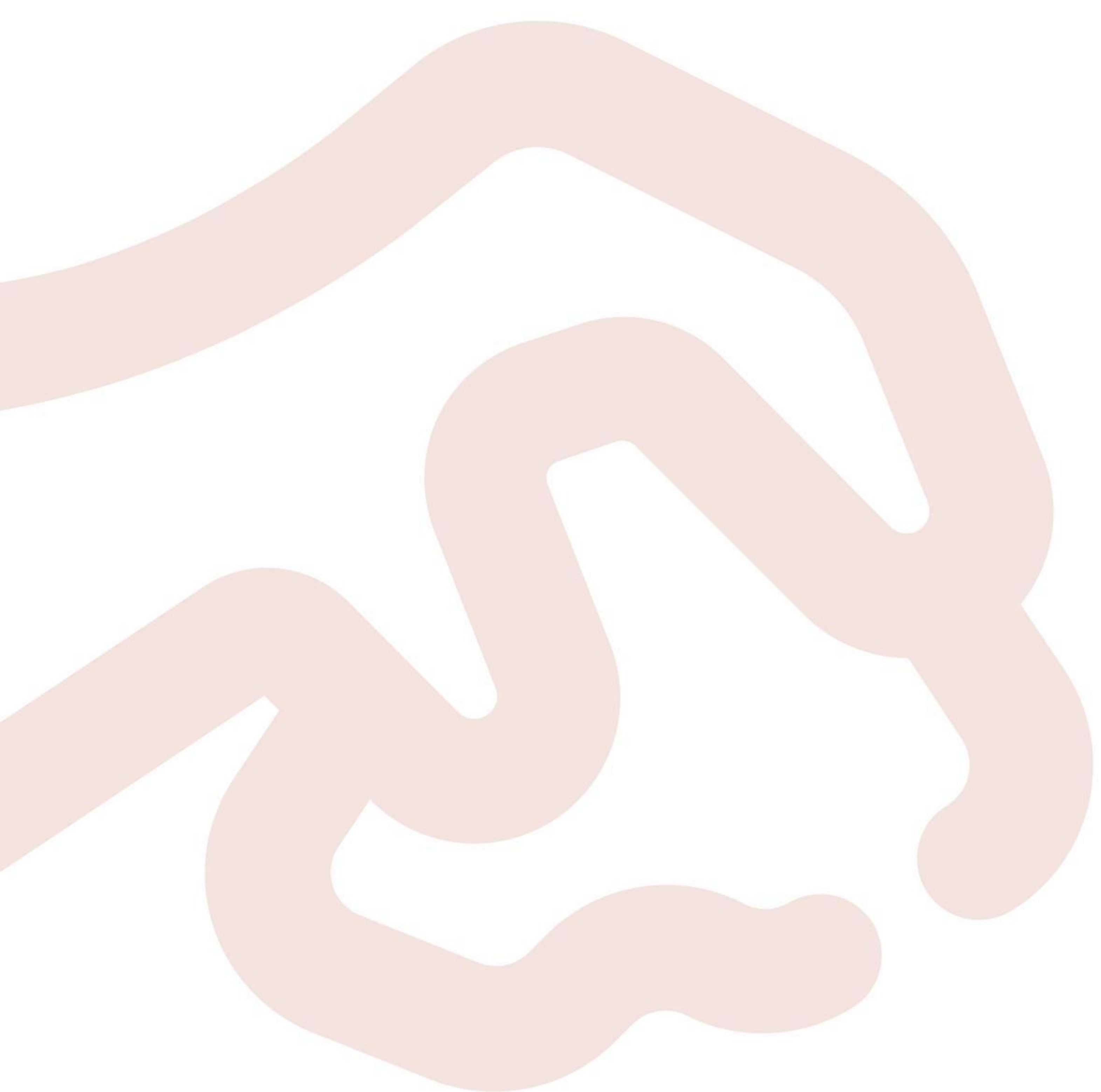
## 6. Wyniki badań i wnioski

Poniżej przedstawiono wyniki badań dla zbadanych serii:

Seria	Gęstość sucha do badania $\lambda$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Gęstość po 28 dniach do badania wytrzymałości [kg/m <sup>3</sup> ]	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda$ [W/m*K]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Normal	327,2	361,8	0,0867	0,283
Termo	302,2	328,9	0,0819	0,217
Cegła	443,36	471,5	0,1099	0,534

We wszystkich seriach udało się osiągnąć wartość wytrzymałości na ściskanie powyżej 0,2 MPa. Choć masa próbek po 28 dniach ustabilizowała się i nie zmieniała się znacznie to były wilgotne. Wsuszenie próbek do przewodności cieplnej pokazało że ich wilgotność mogła się wahać w okolicach 13%. Zasadnym było by badanie wytrzymałości na ściskanie po 60 lub 90 dniach kiedy zajdzie dodatkowa karbonatyzacja. Współczynnik przewodzenia ciepła serii Cegła różnił się od serii Normal o 21%. Jednocześnie wytrzymałość była wyższa niemal dwukrotnie.

Nie udało się osiągnąć wytrzymałości na ściskanie powyżej 0,8 MPa. Taką wartość można by osiągnąć gdyby zastosowano większą kompresję. We wszystkich seriach zastosowano tą samą kompresję 165%.



# Glina lekka

# Raport z badania jakościowego -głina lekka

## 1. Badania przewodzenia ciepła przez komponent słomiano-gliniany

### 1.1 Materiały

Badaniu poddano komponent słomiano-gliniany powstały poprzez sklejenie źdźbeł sprasowanej słomy za pomocą mieszanki wilgotnej gliny. Materiał dostarczono w formie ram drewnianych o wymiarach 64,0 x 80,0 cm i grubości 15 cm, wypełnionych mieszanką. Według informacji przekazanych od Dostawcy, materiał pochodził z większego bloku słomiano-glinianego przyciętego na potrzeby przeprowadzenia badań.

Przed wykonaniem badania przewodności cieplnej ramę zmniejszono do wymiarów 56,5x49,5 cm, pozostawiając grubość 15 cm. Drugie badanie wykonano dla wyjętej z drugiej ramy mieszanki którą rozłożono równomiernie w czarnym cienkim worku foliowym, następnie worek umieszczono w aparacie płytowym. Rysunek 1 przedstawia materiał o wymiarach oryginalnych oraz przebudowaną na potrzeby pomiarów próbkę.



Rys. 1 Komponent słomiano-gliniany, oryginalne wymiary po lewej, zmniejszony na potrzeby badań po prawej



Materiały do badań dostarczono w stanie powietrzno-wilgotnym. Z uwagi na dużą kruchość i łatwą separację drobin gliny próbek nie poddano suszeniu.

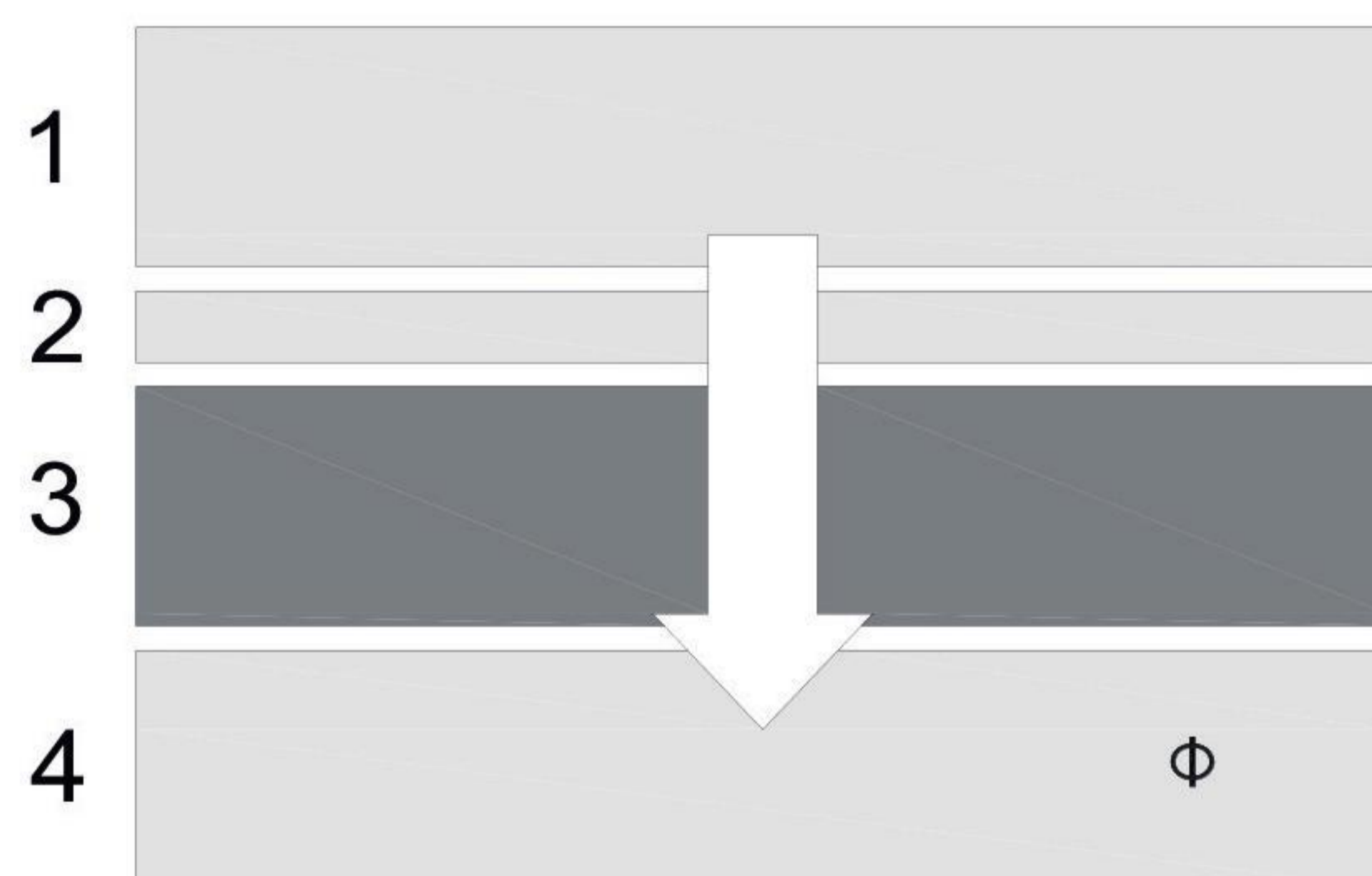
Metoda pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła

Badania przewodności cieplnej wykonano przy wykorzystaniu metody stacjonarnej przy użyciu miernika strumienia ciepła FOX 602 produkcji LaserComp. Działanie aparatu FOX 602 opiera się na jednowymiarowym prawie Fouriera opisanym zależnością (1):

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Gdzie:  $q$  – strumień ciepła ( $W/m^2$ ),  $\lambda$  – przewodność cieplna ( $W/mK$ ),  $dT/dx$  – gradient temperatury ( $K/m$ ).

Metoda z miernikiem strumienia cieplnego, polega na wytworzeniu wewnątrz jednorodnych próbek ograniczonych płaskimi równoległymi powierzchniami w postaci płyt, jednokierunkowej, stałej i jednorodnej gęstości strumienia cieplnego. Płaskie płyty ograniczające próbkę utrzymywane są w różnych wartościach temperatury. W każdej płycie urządzenia zamontowane są wysokoczułe przetworniki strumienia ciepła i termopary. Schemat ideowy urządzenia pokazano na rysunku 2. Dla każdej próbki wykonano 13 powtórzeń pomiarów.

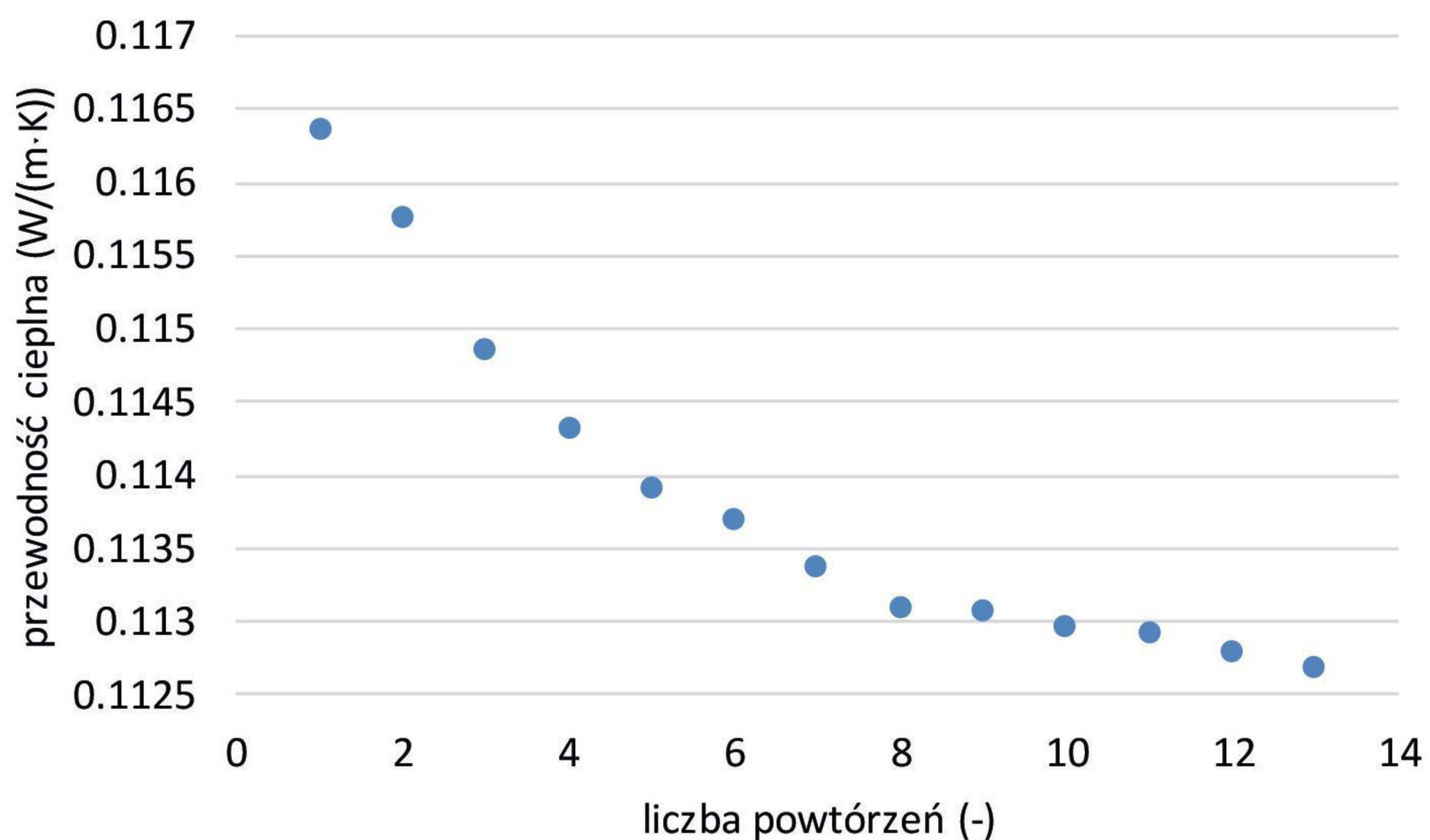


Rys. 2 Schemat budowy aparatu płytowego z wykorzystaną metodą miernika strumienia ciepła, 1 – płyta grzewcza, 2 – miernik strumienia ciepła, 3 – badana próbka, 4 – płyta chłodząca.

## 2. Wyniki pomiarów

### 2.1 Komponent umieszczony w ramie drewnianej

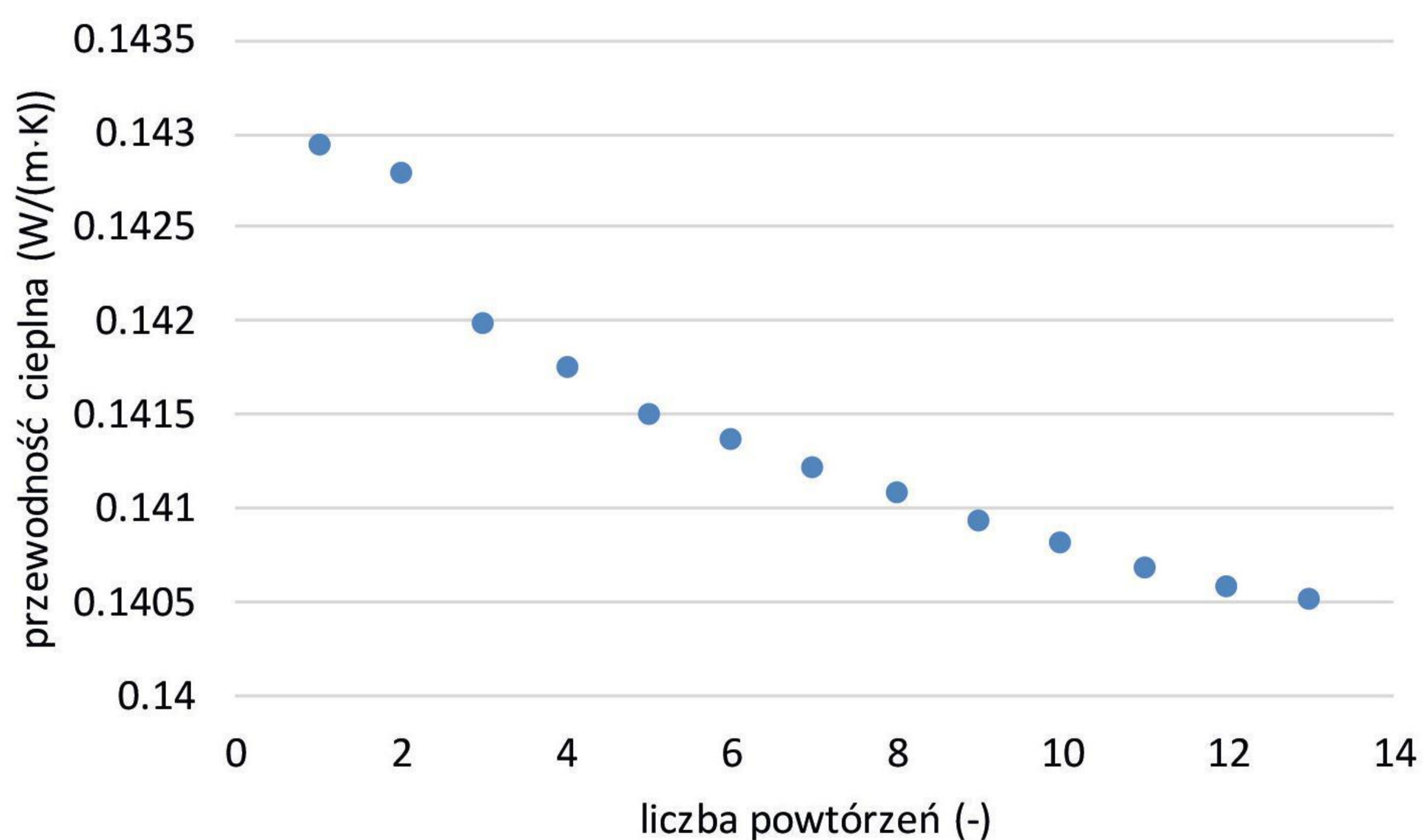
Na rysunku 3 pokazano wyniki pomiarów przewodności cieplnej zestawione dla analizowanej próbki umieszczonej w ramie drewnianej. Widoczny jest wpływ termodyfuzji na uzyskane wyniki. Wraz z każdym powtórzeniem pomiaru front wilgoci przesuwał się w kierunku płyty zimnej przez co częściowo materiał był osuszony. Od 8 pomiaru widoczne jest wyraźne zmniejszenie trendu malejącego, kąt nachylenia krzywej jest mniejszy. Można uznać, że analizowana próbka osiąga przewodność cieplną rzędu  $0,1125-0,113 W/(m \cdot K)$ .



Rys. 3 Wyniki pomiarów przewodności cieplnej próbki umieszczonej w ramie drewnianej

## 2.2 Komponent w stanie luźnym umieszczony w worku

Na rysunku 4 pokazano wyniki pomiarów przewodności cieplnej zestawione dla analizowanej próbki umieszczonej w worku. Podobnie jak w przypadku materiału umieszczonego w ramie widoczny jest wpływ termodyfuzji. Stabilizacja mierzonej wartości w analizowanym zakresie powtórzeń nie następuje. Można przyjąć, że przewodność cieplna wyjętego z ramy materiału mieści się w zakresie 0,1405-0,1420 W/(m·K).



Rys. 4 Wyniki pomiarów przewodności cieplnej próbki umieszczonej w worku

### 3. Wnioski z przeprowadzonych badań

Na podstawie przeprowadzonych badań można postawić następujące wnioski:

- przewodność cieplna dostarczonego materiału zależna jest od uformowania próbki,
- najniższa osiągnięta wartość pomiarowa  $0,1125 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  została osiągnięta dla próbki umieszczonej w ramie drewnianej,
- rozformowania ramy w celu wykonania drugiego pomiaru spowodowało rozklejenie pierwotnie łączonych za pomocą gliny źdźbeł, przez co przewodność cieplna wzrosła do  $0,1405 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,
- z uwagi na dużą kruchość dostarczonego materiału, nie mógł zostać poddany osuszeniu w celu pomiaru przy stanie powietrznym suchym, należy jednak mieć na uwadze, że w warunkach eksploatacyjnych materiały higroskopijne zazwyczaj mają kontakt z wilgocią zawartą w powietrzu, przez ich wilgotność jest wyższa od zera.



# **Płyty gliniane**

# Raport z badania jakościowego płyta gliniana

## 1. Badania przewodzenia ciepła przez prefabrykowane płyty gliniane

### 1.1 Materiały

Badaniu poddano prefabrykowane płyty gliniane o grubości 15,3-15,5 mm. Płyta zbrojona siatką z włókna. Łącznie dostarczono 6 płyt o wymiarach 585,0x500,0 mm. Na rysunku 1 pokazano zdjęcia płyt.



Rys. 1 Płyty gliniane prezentowane warstwą fakturową

Materiał do badań dostarczono w stanie zawilgocenia do 1%. Trzy płyty przeznaczono do badań przewodności cieplnej. Po wykonaniu serii badań na płytach umieszczono je w komorze suszarniczej i przez 200 godzin suszono w temperaturze 80°C (rysunek 2).



Rys. 2 Płyty gliniane w trakcie suszenia w temperaturze 80°C

Próbki były ważone przy wykorzystaniu wagi precyzyjnej Radwag WLC 12/F1/R o dokładności pomiaru 0,2 g. Tabela 1 zawiera informacje dotyczące masy próbek przed i po badaniu przewodności cieplnej oraz wilgotność masową próbek dostarczonych do badań.

Próbka	Masa próbki (g)				Wilgotność masowa próbek w stanie powietrzno-wilgotnym(%)
	Wilgotne		Suche		
	Przed pomiarem	po	Przed pomiarem	po	
1	7077,0	7074,4	7009,2	7020,0	0,96
2	7443,4	7439,8	7377,0	7409,6	0,89
3	6860,6	6860,8	6844,2	6845,8	0,23

Tabela 1 Zestawienie masy próbek przed i po pomiarze w aparacie płytowym dla próbek w stanie wilgotnym oraz suchym

Z pozostałych płyt wykonano próbki do badań sorpcji oraz paroprzepuszczalności (rysunek 3). Pole powierzchni próbek do badania paroprzepuszczalności 0,0270 m<sup>2</sup>, pole powierzchni próbek do badania sorpcji 0,0038 m<sup>2</sup>. Próbki do badań sorpcji wysuszono w suszarce laboratoryjnej, próbki do badań paroprzepuszczalności kondycjonowano w warunkach laboratoryjnych. Masę próbek ważono przy użyciu wagi precyzyjnej Radwag PS 1000.X2 dokładności 1 mg.



Rys. 3 Przygotowane próbki do pomiarów wilgotnościowych, po lewej stronie do badania sorpcji, po prawej do badania paroprzepuszczalności

## 1.2 Metody badawcze

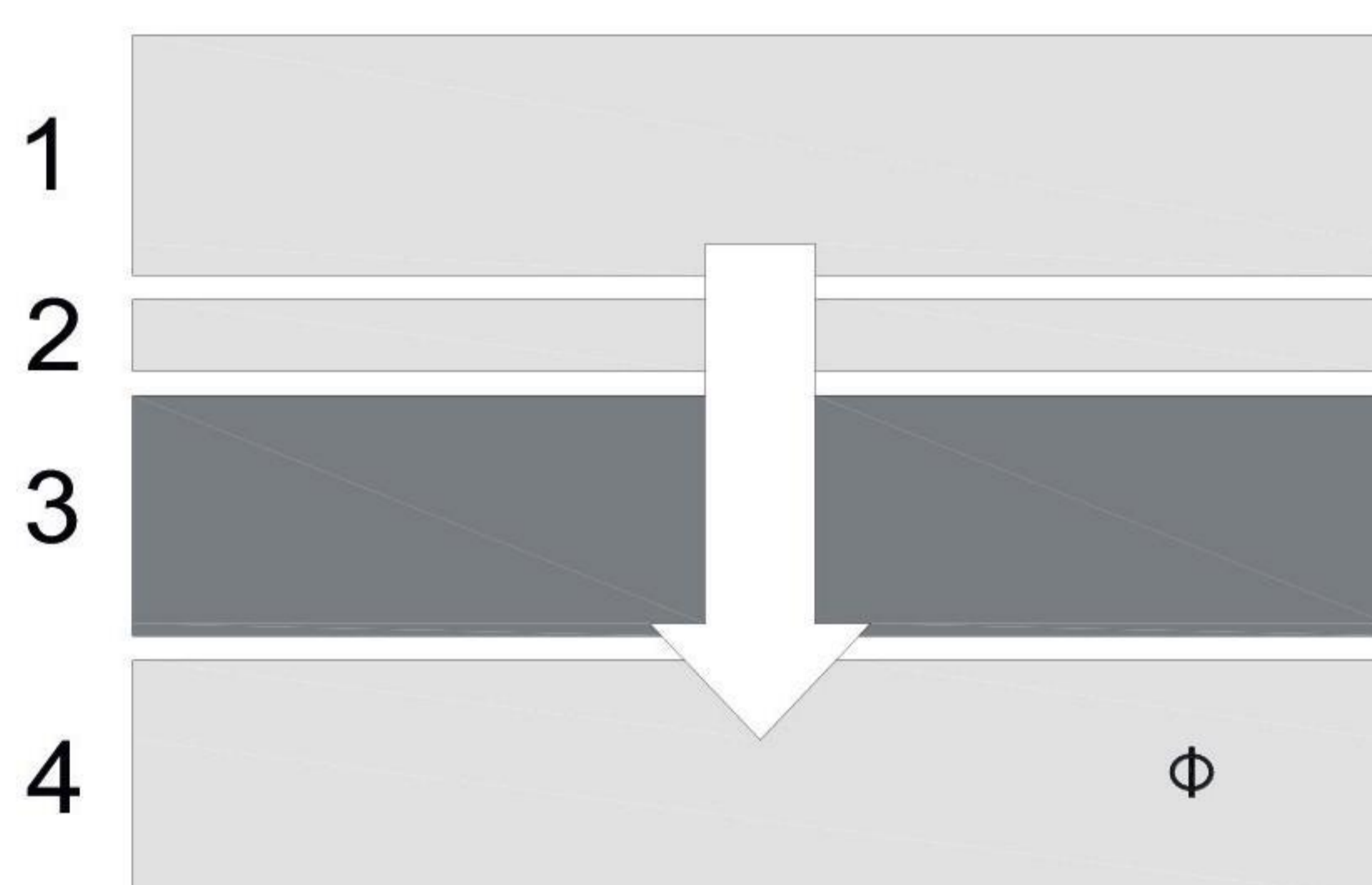
### 1.2.1 Badania współczynnika przewodzenia ciepła

Badania przewodności cieplnej wykonano przy wykorzystaniu metody stacjonarnej przy użyciu miernika strumienia ciepła FOX 602 produkcji LaserComp. Działanie aparatu FOX 602 opiera się na jednowymiarowym prawie Fouriera opisanym zależnością (1):

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

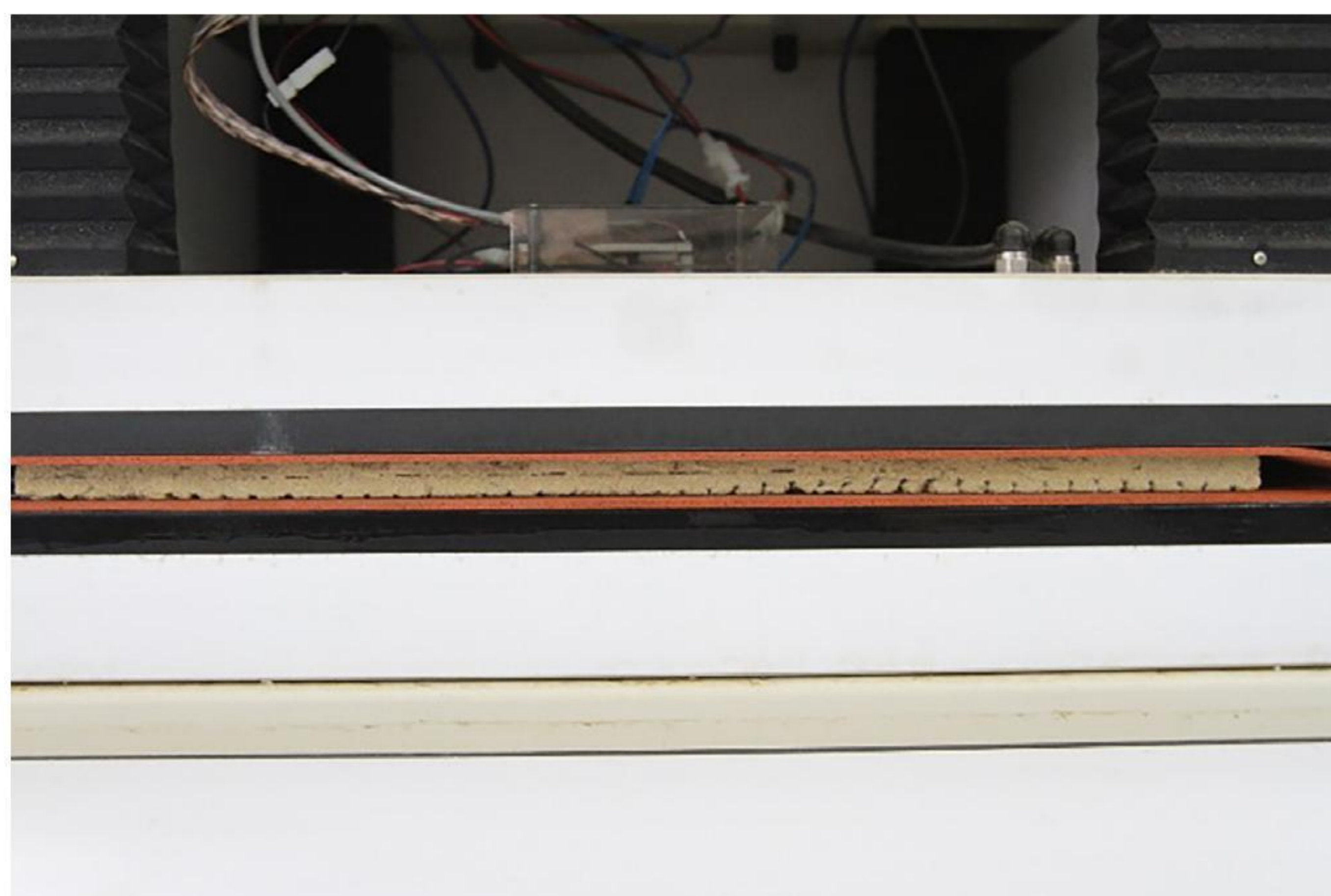
Gdzie:  $q$  – strumień ciepła ( $W/m^2$ ),  $\lambda$  – przewodność cieplna ( $W/mK$ ),  $dT/dx$  – gradient temperatury ( $K/m$ ).

Metoda z miernikiem strumienia cieplnego, polega na wytworzeniu wewnątrz jednorodnych próbek ograniczonych płaskimi równoległymi powierzchniami w postaci płyt, jednokierunkowej, stałej i jednorodnej gęstości strumienia cieplnego. Płaskie płyty ograniczające próbkę utrzymywane są w różnych wartościach temperatury. W każdej płycie urządzenia zamontowane są wyskokoczułe przetworniki strumienia ciepła i termopary. Schemat ideowy urządzenia pokazano na rysunku 4. Dla każdej próbki wykonano 13 powtórzeń pomiarów. Badania zrealizowano w oparciu o normę PN-EN ISO 12667:2002 Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego. Wyroby o dużym i średnim oporze cieplnym.



Rys. 4 Schemat budowy aparatu płytowego z wykorzystaną metodą miernika strumienia ciepła, 1 – płyta grzewcza, 2 – miernik strumienia ciepła, 3 – badana próbka, 4 – płyta chłodząca.

Na rysunku 5 pokazano płytę glinianą umieszczoną w aparacie płytowym podczas badań współczynnika przewodzenia ciepła. Płyta obłożona jest z dwóch stron matami ochronnymi.

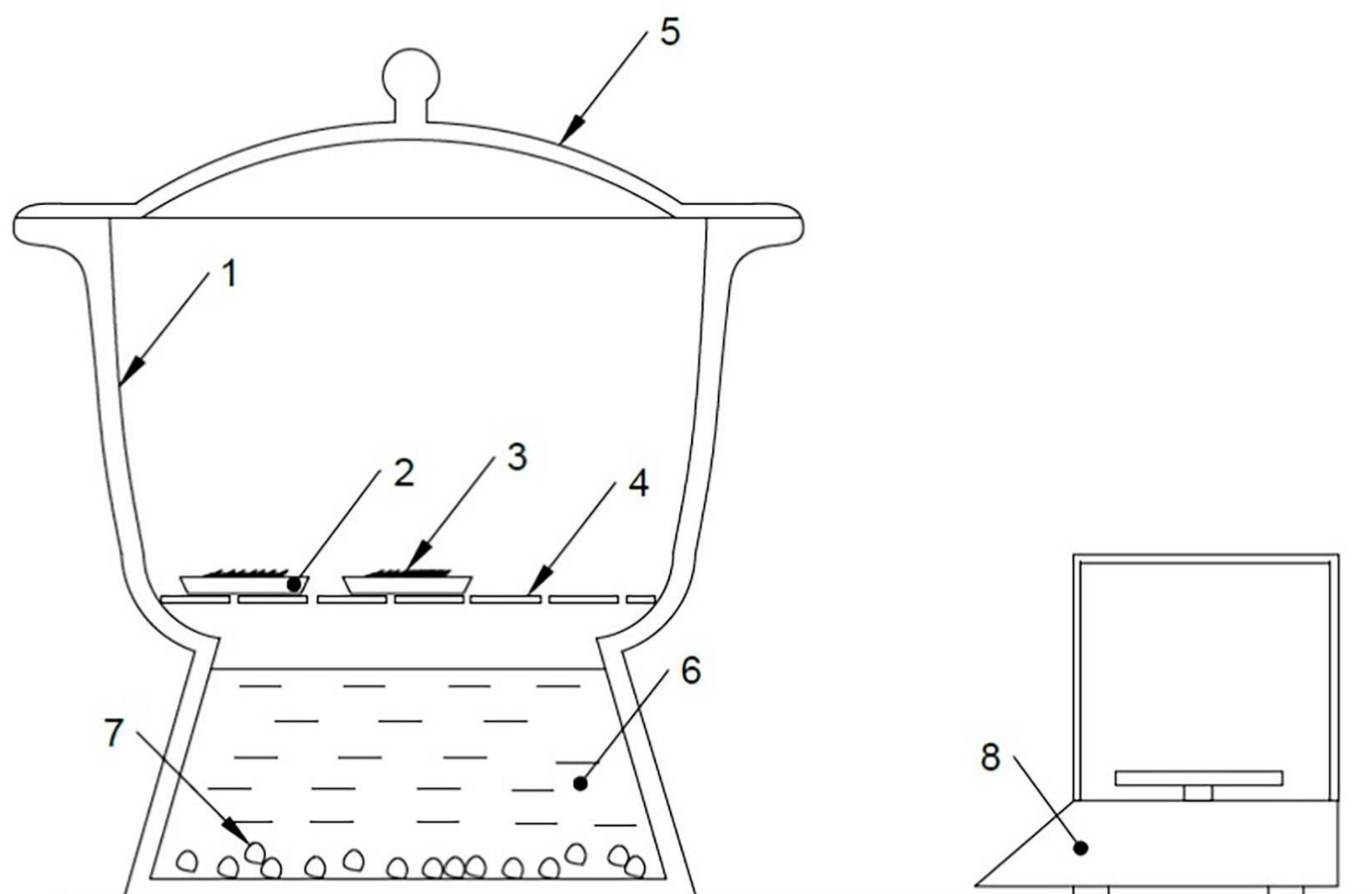


Rys. 5 Płyta gliniana umieszczona w komorze pomiarowej aparatu płytowego FOX 602

### 1.2.2 Badania sorpcyjnego wchłaniania wilgoci materiału

Badania zrealizowano w oparciu o normę PN-EN ISO 12571:2022-04 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe materiałów i wyrobów budowlanych -- Określanie właściwości sorpcyjnych. Badania wykonano przy pomocy eksykatorów, tj. szczelnie zamkniętych naczyń w których utrzymywany był stały poziom zawilgocenia zależny od wykorzystanego roztworu solnego znajdującego się na dnie poniżej badanych próbek. Stałą wartość wilgotności w naczyniu zapewniały mieszadła magnetyczne. Raz na dobę wykonywano kontrolny pomiar masy próbek określając w ten sposób sorpcyjne pochłanianie wilgoci przez badany materiał w zależności od poziomu wilgotności względnej otoczenia.

Pomiary masy wykonano przy wykorzystaniu wagi precyzyjnej Radwag AS310/X o dokładności pomiarowej 0,1 mg. Schemat ideowy przeprowadzonych badań wchłaniania wilgoci (sorpcyjności) przedstawiono na rysunku 6. Wilgotność względną powietrza utrzymywaną ponad roztworami solnymi podano w tabeli 2. Badania sorpcji wykonano w każdym punkcie wilgotnościowym dla dwóch próbek materiału. Pomiary trwały 3 tygodnie aż do ustabilizowania masy próbek. Równolegle wykonano badania desorpcji próbek, które najpierw kondycjonowano w warunkach RH 100%



Rys. 6 Stanowisko do badania wchłaniania wilgoci przez materiały sypkie. 1 – eksykator, 2 – perforowana tacka na której umieszczony jest badany materiał w postaci sypkiej, 3 – badany materiał, 4 – siatka akrylowa o dużych oczkach, 5 – pokrywa eksykatora, 6 – roztwór solny, 7 – cząsteczki soli świadczące o wytworzeniu roztworu przesyconego, 8 – precyzyjna waga laboratoryjna.

### 1.2.3 Badania paroprzepuszczalności materiału

Badania zrealizowano w oparciu o normę PN-EN ISO 12572:2016-10 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe materiałów i wyrobów budowlanych -- Określanie właściwości związanych z transportem pary wodnej -- Metoda naczynia. Badaniu poddano cztery wykrojone z płyt glinianych próbki o kształcie zbliżonym do prostokąta z zaokrąglonymi wierzchołkami. Dwie próbki umieszczono w naczyniu ponad wodą demineralizowaną, a dwie ponad chlorkiem wapnia



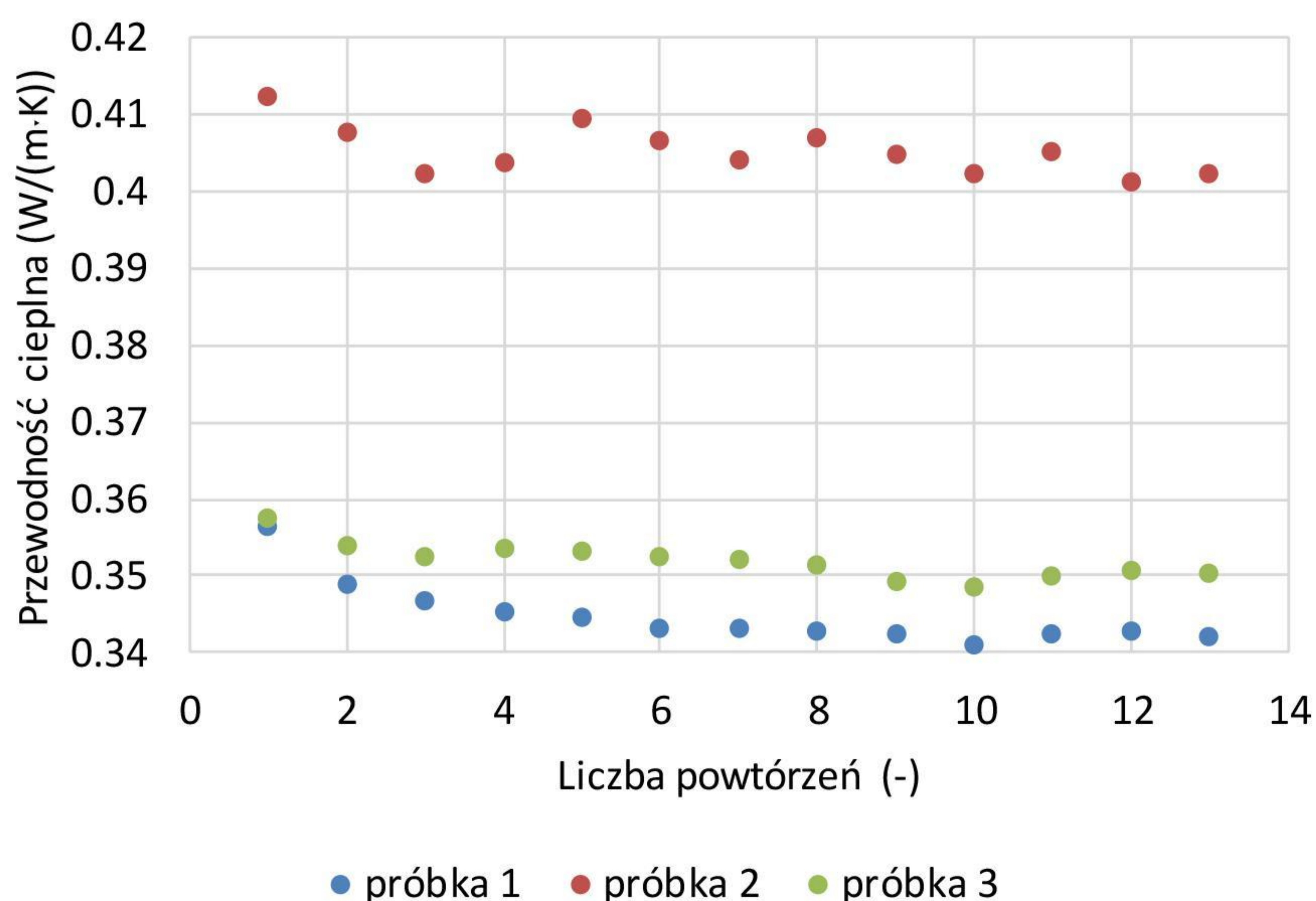
(desykanem). W naczyniach umieszczono po 200 g wody lub soli. Próbkę umieszczono w płaszczyźnie poziomej i uszczelniono ich brzegi silikonem w celu uniknięcia bocznego przepływu pary wodnej. Odległość między dolną powierzchnią próbek a desykanem/wodą stała dla wszystkich próbek 25 mm.

Przygotowane naczynia z próbkami umieszczono w komorze klimatycznej w warunkach 23°C i 50% wilgotności powietrza. Raz na dobę wykonywano kontrolny pomiar masy naczyń z próbkami. W ten sposób odczytywano ubytek (nad wodą) lub przyrost masy (nad desykanem). Do ważenia użyto precyzyjnej wagi laboratoryjnej Radwag PS 1000.X2 dokładności pomiarowej 1 mg. Pomiar trwał 3 tygodnie aż do ustabilizowania strumienia pary wodnej.

## 2. Wyniki pomiarów

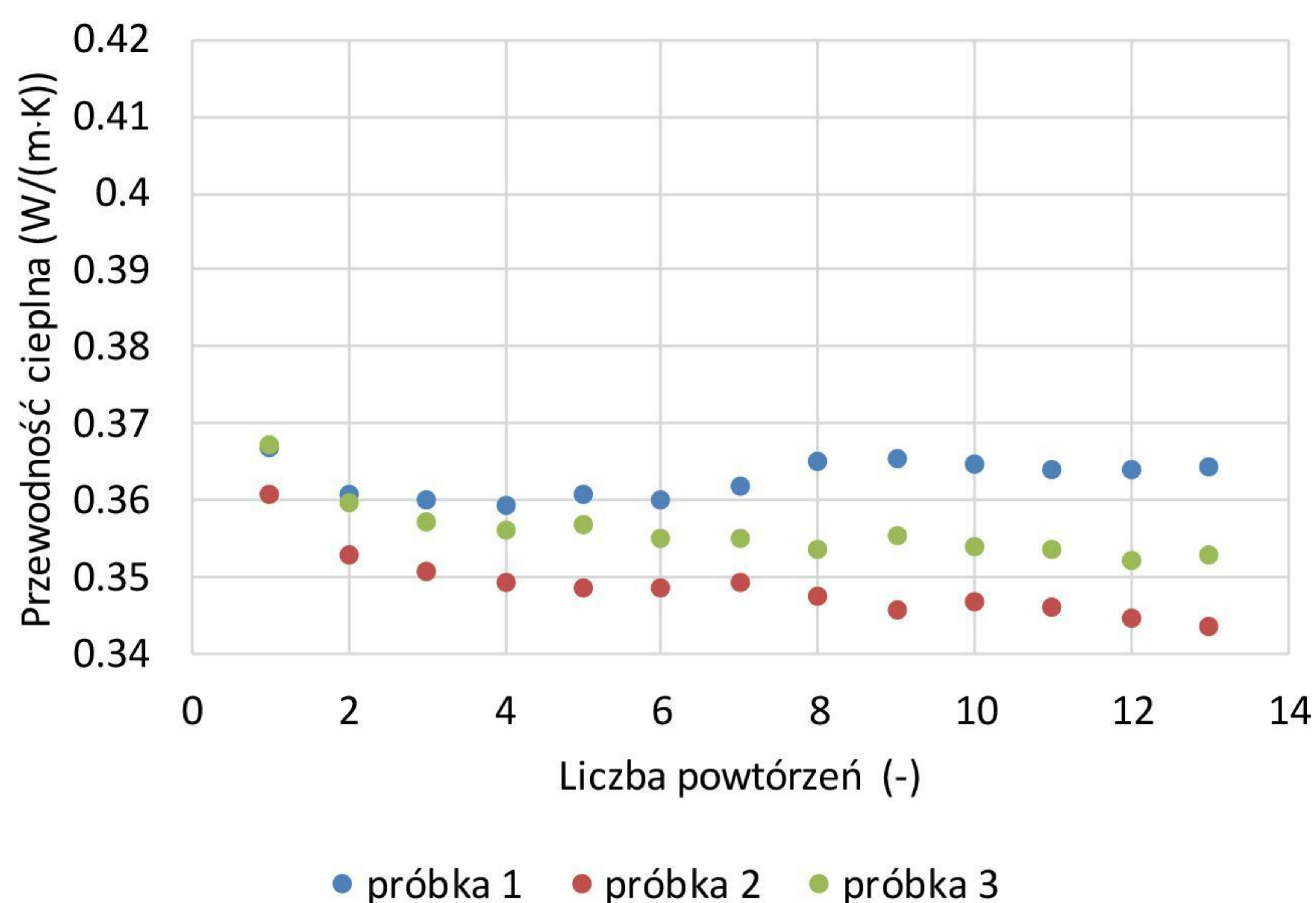
### 2.1 Przewodność cieplna

Na rysunku 7 pokazano wyniki pomiarów przewodności cieplnej zestawione dla płyt w stanie powietrzno-wilgotnym. Przewodność cieplna próbki 1 i 3 mieści się w zakresie 0,34-0,35 W/(m·K). Próbka 2 wykazała przewodność cieplną na poziomie 0,40-0,41 W/(m·K). Od drugiego pomiaru dla wszystkich próbek widoczna jest stabilizacja wyników. Świadczy to o niewielkim zawilgoceniu i znikomym wpływie na transport ciepła w płytach.



Rys. 7 Wyniki pomiarów przewodności cieplnej próbek w stanie powietrzno-wilgotnym

Na rysunku 8 pokazano wyniki pomiarów przewodności cieplnej zestawione dla płyt wysuszonych. Przewodność cieplna wszystkich próbek mieści się w zakresie 0,34-0,36 W/(m·K). Widoczna jest stabilność pomiarowa.



Rys. 8 Wyniki pomiarów przewodności cieplnej próbek wysuszonych

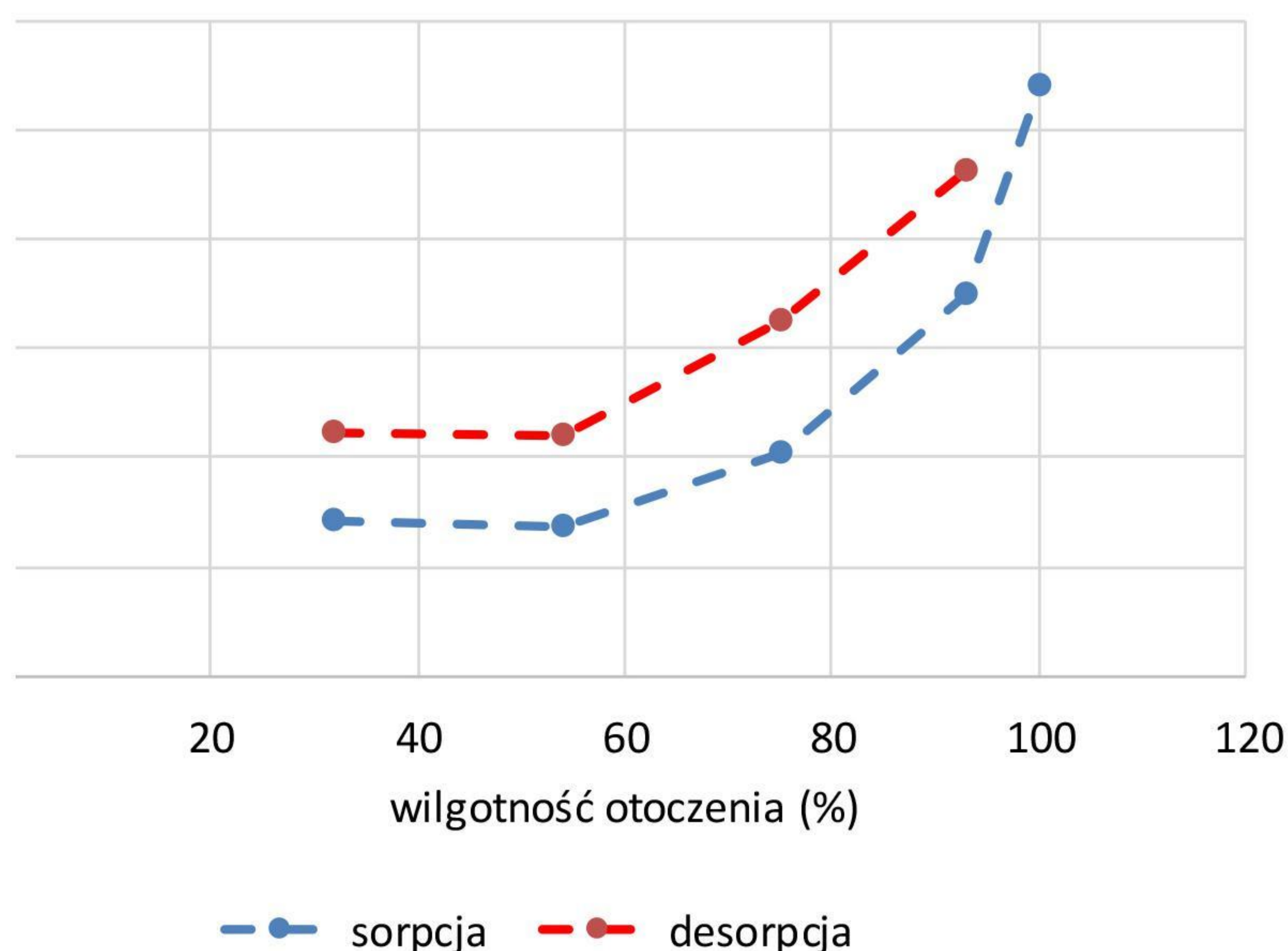
## 2.2 Sorpcyjne wchłanianie wilgoci

W tabeli 3 zestawiono wyniki sorpcyjnego wchłaniania wilgoci przez próbki wycięte z płyty glinianej. Prezentowane są wartości średnie. Wraz z rosnącą wilgotnością otoczenia wzrasta poziom wilgotności sorpcyjnej próbek. Przy wilgotnościach do 75% różnice są niewielkie, dopiero dla wartości 93 i 100% wilgotności otoczenia następuje wyraźny przyrost. Maksymalnie jest to 2,70% przy wilgotności otoczenia 100%. Na podstawie uzyskanych wyników, w ujęciu ogólnym, można wnioskować, że wpływ wilgotności otoczenia na stan wilgotnościowy badanych próbek jest niewielki.

Wilgotność otoczenia (%)	Wilgotność sorpcyjna (%)	Wilgotność desorpcyjna (%)
32	0.68	1.11
54	0.71	1.10
75	1.02	1.63
93	1.75	2.31
100	2.70	

Tabela 3 Wilgotność sorpcyjna wchłaniana przez próbki

Na rysunku 9 zestawiono krzywą sorpcji z krzywą desorpcji



Rys. 9 Krzywe sorpcji i desorpcji płyt glinianych

### 2.3 Paroprzepuszczalność

Badania paroprzepuszczalności przeprowadzono metodą wet cup i dry cup. Rezultaty uzyskane dla obu metod różnią się od siebie, co jest zgodne z przyjętą metodą pomiarową. Uśredniony opór dyfuzyjny próbek umieszczonych ponad wodą demineralizowaną (wet cup) ma wartość 2,91, natomiast ponad desykantem (dry cup) jest równy 10,24.

## 3. Wnioski z przeprowadzonych badań

**Na podstawie przeprowadzonych badań można postawić następujące wnioski:**

- przewodność cieplna suchych próbek mieści się w zakresie 0,34-0,36 W/(m·K), zalecana wartość do obliczeń cieplnych 0,35 W/(m·K),
- badany materiał charakteryzuje się niewielką nasiąkliwością sorpcyjną, do 2,7% w otoczeniu 100%, do 1,02% w typowych warunkach użytkowania (do 75% RH),
- wpływ zawilgocenia na przewodność cieplną jest znikomy (poza jedną próbką nie są widoczne różnice),
- paroprzepuszczalność zbadanych próbek dla metody mokrej wynosi 2,91, a dla metody suchej 10,24.

Iceland   
Liechtenstein  
Norway grants



**IOŚ-PIB**  
Instytut Ochrony Środowiska  
Państwowy Instytut Badawczy



**DEKARBONIZACJA  
PROCESÓW  
BUDOWLANYCH**