

Budowa terenowego i laboratoryjnego stanowiska badawczego do określania wartości współczynnika przenikania ciepła. Część I – Aspekty budowy

Mgr inż. Piotr Bieranowski, Wydział Nauk Technicznych,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

1. Wprowadzenie

Wartość współczynnika przenikania ciepła w aspekcie rządowych zaleceń zawartych w [1] będzie cyklicznie maleć. Jest to podyktowane logicznym zapotrzebowaniem na globalne poszanowanie energii cieplnej. Wytwarzanie jej jest często procesem szkodliwym dla środowiska naturalnego – gazy, efekty cieplarniane. W XXI wieku, przy obecnym stanie natury, zjawiska takie należy likwidować. Ograniczenie strat energii termicznej przez przenikanie, poprzez zewnętrzne ściany konstrukcyjne budynków (oraz inne części obudowy) jest jednym z rozwiązań, kierującym ku niwelacji tych krytycznych światowych problemów.

Publikacja będzie składać się z czterech części: 1. Aspekty budowy, 2. Aspekty transportu energii, 3. Aspekty rejestracji danych, 4. Aspekty empiryczne. Bardzo ważne jest, aby problematyka opisu tej części fizyki zjawisk została dokładnie nakreślona, ponieważ w polskich czasopismach naukowych nie jest poruszana, prócz [2, 3]. Równie ważne jest, iż wszystkie zagadnienia naukowe dające miarodajne wyniki zostały opracowane na podstawie, nie tłumaczonej do tej pory na język polski normy, co jest rażącym problemem z punktu widzenia krajowej normalizacji technicznej.

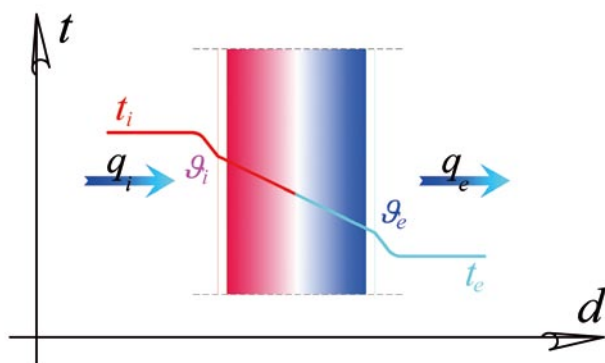
Ze względu na malejącą wartość współczynnika przenikania ciepła w interwałach okresowych zawartych w [1] nastąpiła natychmiastowa konieczność badań wartości tego

kryterium w budynkach już istniejących. Twórcy przepisów zawartych w [1] postąpili logicznie, lecz nigdzie nie ma – z punktu widzenia krajowej normalizacji budowlanej – żadnych opisanych metod, które byłyby pomocne w rozwiązywaniu tego typu zagadnień. Jest to obecnie poważnym błędem, brak opracowań, które proponuje autor, jest rażącym błędem. Odpowiedzią na to jest seria publikacji, która będzie pomocna przy termomodernizacjach, koniecznych ze względu na zalecenia płynące z [1].

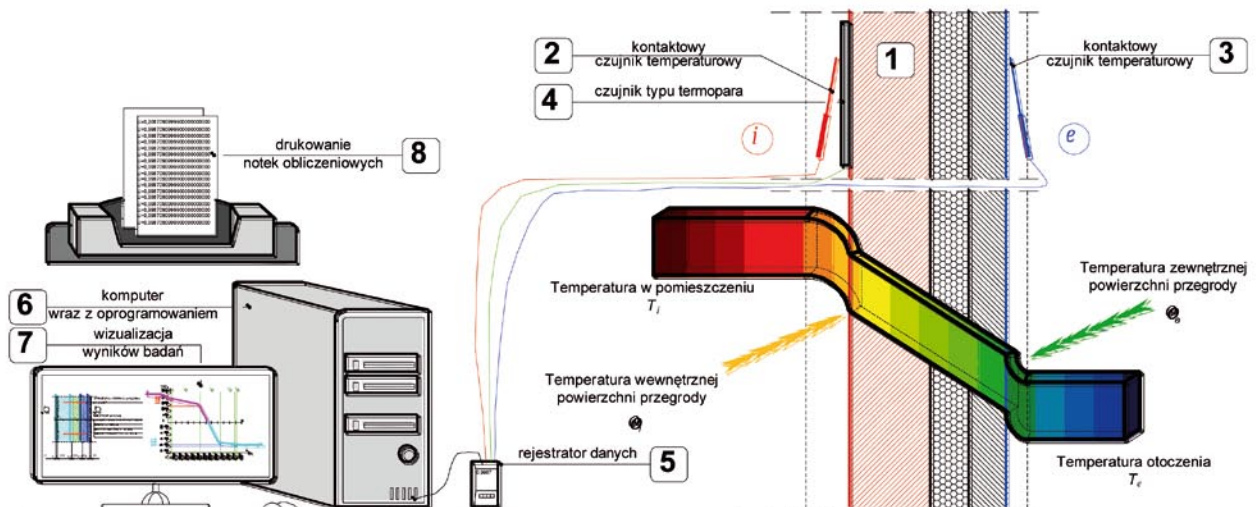
Normy [4, 5] regulują proces wyznaczania wartości współczynnika przenikania ciepła tylko dla warunków stacjonarnego (rys. 1) transportu ciepła – w newralgicznych warunkach z punktu widzenia oddziaływań, bez zmienności wartości parametrów w czasie. Z punktu widzenia badań in situ i laboratoryjnych stają się całkowicie nieprzydatne. Norma [6] powstała już dość dawno, dziwi więc fakt, że nie została zagospodarowana również w Polsce. Należy w tym punkcie bezpośrednio nadmienić, iż analiza według [6] jest stosowana z powodzeniem, w czasie obecnym przez naukowców z całego świata [7, 8]. Autor przetłumaczył ową normę i po długim okresie przygotowawczym wykonał całosezonne badania w okresie chłodnym i zimowym na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie. Autor ma nadzieję, że tym raportem w postaci cyklu publikacji naukowych wpłynie na poprawę sytuacji technicznej w Polsce w aspekcie ciepłochronności konstrukcyjnych ścian zewnętrznych budynków oraz innych części obudowy.

2. Budowa stanowiska pomiarowego – podwójnego zastosowania, laboratoryjno-terenowego

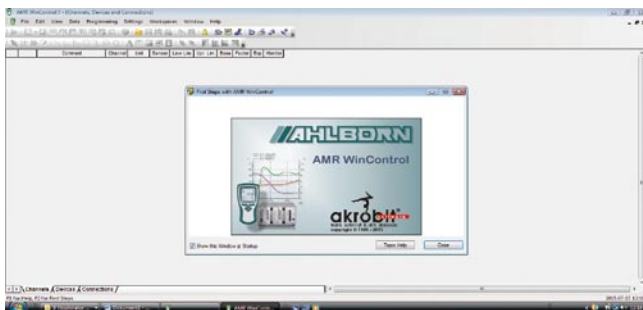
Po pobraniu wszystkich niezbędnych danych przez rejestrator zgrywa się je do pamięci komputera. Stosuje się do tego program, stworzony przez producenta modułu, do pomiaru współczynnika przenikania ciepła w warunkach in situ. Dane po przekonwertowaniu w omawianym programie AMR Win-Control zapisuje się w formacie xlsx. (np. Word – Excel lub inny arkusz kalkulacyjny, np. z rodziny programów otwartych,



Rys. 1. Schemat ustalonego przepływu ciepła (rys. archiwum autora)



Rys. 2. Budowa stanowiska pomiarowego podwójnego zastosowania (w laboratorium i w warunkach poligonowych) do pomiaru wartości współczynnika przenikania ciepła U (rys. archiwum autora)



Rys. 3. Interfejs programu AMR WinControl (opracowanie wg [11], rys. archiwum autora)

np. Open Office). Kolejnym krokiem jest podstawienie zebranych pomiarów do arkusza kalkulacyjnego opracowanego na podstawie algorytmów zawartych w normie [6] – nietłumaczonej jak do tej pory na język polski.

Do rejestracji danych, tj. temperatury wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody oraz gęstości strumienia ciepła (rys. 2) zastosowano wielofunkcyjny rejestrator danych (rys. 2 – nr 5) [10] ALMEMO 2890-9 (oraz alternatywnie ALMEMO® 2690-8A – o zbliżonych parametrach technicznych). Przy użyciu karty pamięci SD istnieje możliwość do 100 pomiarów/sek. Pamięć EEPROM do 100 000 rejestracji danych. Jako instrumenty termometryczne [10] – termometry kontaktowe (rys. 2 – nr 1 i 2) zastosowano czujniki termoelektryczne NiCr-Ni płaszcz typu K o zakresie pracy od -40 do $+160^{\circ}\text{C}$. Dokładność pomiaru dla tych czujników wynosi $0,1\text{ K}$.

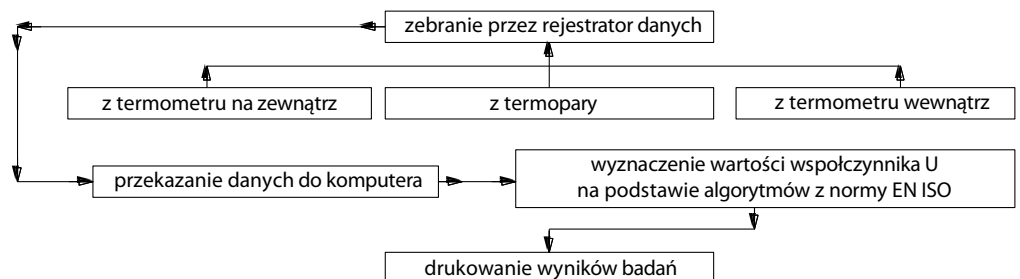
Do określania wartości gęstości strumienia ciepła q (konwertowanego następnie do miary współczynnika przenikania ciepła U) zastosowano czujnik typu termopara (rys. 2 – nr 4) 119 – FQA019C [10], składający się z wielu kaskadowo połączonych termopar osadzonych w materiale nośnika. Czujnik ten – specjalnie dedykowany dla budownictwa – wykonywany jest z żywicy epoksydowej i ma wymiary $250 \times 250 \times 1,5\text{ mm}$. Odporność temperaturowa instrumentu mieści się w granicach parametru stanu: -40 do $+80^{\circ}\text{C}$, kalibracja $< 8\text{ W/m}^2 \approx 1\text{ mV}$, dokładność wartości kalibracji 5% przy 23°C .

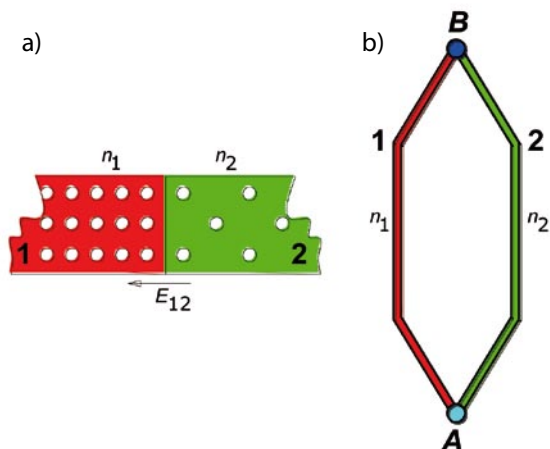
Podstawowym elementem [9] czujnika typu termopara jest czujnik temperatury generacyjny, który stanowi ogniwo termoelektryczne (termoelement). Zestaw dwóch przewodników (lub półprzewodników – co przyszło z czasem) wykonanych z różnych metali – tworzy termoelement). Skutkiem zastosowania dwóch różnych metali i połączenia ich w styku (rys. 5) jest uwolnienie się kontaktowej różnicy potencjałów, której wartość jest określona zależnością:

$$E_{1-2} = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

Pierwszym elementem we wzorze (1) jest składnik zależny od prac A_1, A_2 wyjścia elektronów z tych metali; $e = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{ C}$ – ładunek elektronu. Drugi składnik, kryjący się pod nazwą – dyfuzyjna różnica potencjałów, zależny

Rys. 4. Schemat procesu rejestracji, przetwarzania i obróbki danych pomiarowych otrzymanych na drodze badań – in situ lub laboratoryjnych (rys. archiwum autora)





Rys. 5. Schemat budowy czujnika typu termopara

jest od temperatury bezwzględnej T , miejsca styku metali i skupienia n_1, n_2 swobodnych elektronów, tj. ich zawartości w jednostce objętości obu metali $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ – stała Boltzmanna.

Zestawione wartości sił termoelektrycznych występujące w potencjale danych metali, stopów i platyny, jako odniesienia do półprzewodnika (w celach porównawczych) zaprezentowano w tabeli 1 [8].

Przy zastosowaniu dwóch metali (1 i 2 na rysunku 5) połączonych spoiną kontaktową w punktach A i B, gdy temperatura złączy wynosi odpowiednio T_A i T_B , liczba swobodnych elektronów n_1 i n_2 to siła elektromotoryczna (termoelektryczna), w tak skonstruowanym i zamkniętym układzie, zgodnie z prawem Kirchoffa (zakładając, że różnica potencjałów dla danej różnicy temperatur – zmiana prac wyjścia jest bardzo mała) będzie wynosić:

$$E = E_{1-2} - E_{2-1} = \frac{k}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} (T_A - T_B) = C(T_A - T_B) \quad (2)$$

Istnienie siły elektromotorycznej ma swój początek w występującej na styku (metali 1 i 2) różnicy potencjałów. Siła elektromotoryczna powstaje jako różnica spoinowych (punktowych) sił elektromotorycznych $E_{1-2} + E_{2-1}$ przy $T_A \neq T_B$. Gdy siła elektromotoryczna $E = 0$, stała C we wzorze (2) bezpośrednio zależy od zastosowanych metali. Wartości sił termomotorycznych podyktowane są głównie zawartością domieszek, obróbki mechanicznej i cieplnej – stąd dokładna ich wartość nie jest ściśle miarodajna (można to uzyskać na drodze konkretnych badań – na bezpośrednio danej konstrukcji termopary). Stąd tabela 1 może służyć jako pomoc dla projektantów tych czujników, jak również amatorów chcących wzbudzić siły elektromotoryczne, budując własne instrumenty pomiarowe.

Druty wbudowywane w czujniki pomiarowe typu termopara, przed ich umieszczeniem w urządzeniu, należy poddać odpowiedniej obróbce cieplnej w temperaturze znacznie wyższej niż temperatura użytkowania. Anizotropia struktury wewnętrznej, w przypadku pojawienia się gradientu

temperatury wzdłuż drutu, może być przyczyną powstania pasożytniczych sił termoelektrycznych, tzw. efekt Becquere-la. Strukturę drutu w aspekcie izotropii można sprawdzić, podłączając termoogniowo do galwanometru. Jednocześnie należy drut ogrzewać, np. palnikiem Bunsena, gdy drut jest izotropowy, galwanometr nie wykaże przepływu prądu. Instrumenty pomocnicze w stosunku do całościowego zestawu pomiarowego, niezbędnego do pomiarów współczynnika przenikania ciepła w warunkach terenowych i laboratoryjnych, przedstawiono na rysunkach 12–14. Nie są one konieczne w aspekcie ich zastosowania bezpośrednio

Tabela 1. Czulość elektromotoryczna termoelementów złożonych z platyny i jednego z niżej podanych materiałów w temperaturze odniesienia spoiny [°C] [8]

Metal	S [μV/K]	Metal	S [μV/K]	Metal	S [μV/K]
Bizmut	-72	Aluminium	3.5	Kadm	7.5
Konstantan	-35	Ołów	4.0	Żelazo	18.5
Nikiel	-15	Tantal	4.5	Chromonikiel	25
Potas	-9	Rod	6.0	Antymon	47
Sód	-2	Srebro	6.5	German	300
Platyna	0	Miedź	6.5	Krzem	440
Rtęć	0.6	Złoto	6.5	Tellur	500
Węgiel	3.0	Wolfram	7.5	Selen	900

w celu uzyskiwania poszukiwanych wyników, lecz mogą dla wnikliwych naukowców posłużyć jako instrumenty pomocnicze.

Pomocniczo (oczywiście nie jest to sprzęt niezbędny do otrzymania wartości współczynnika przenikania ciepła) – w celach naukowo-poznawczych można również zastosować zestaw do pomiaru klimatu wewnętrznego (kompatybilnego z rejestratorem danych, nr 5 na rysunku 2) [10] – rys. 15 – zestaw instrumentów na pierwszym planie fotografii po stronie lewej.



Rys. 6. Wstępne przygotowanie stanowiska do pomiarów współczynnika przenikania ciepła w warunkach in situ, na stole stanowiska pomiarowego widoczne rejestratory danych (na rysunku 2 – nr 5). Pomocniczo zainstalowana termowizyjna kamera laboratoryjna (fot. archiwum autora)



Rys. 7. Stanowisko laboratoryjne gotowe do pomiarów. Na ścianie zamocowane czujniki płytowe typu termopara. Zamocowane termometry kontaktowe. Statyw przygotowany do wykonywania fotografii wykonywanych w zakresie fal widzialnych oraz w zakresie widma fali podczerwieni (fot. archiwum autora)



Rys. 11. Czujnik termometryczny kontaktowy (rys. 2. – nr 4) wraz z okablowaniem [10] (fot. archiwum autora)



Rys. 12. Przenośna kamera termowizyjna wraz ze statywem (fot. archiwum autora)



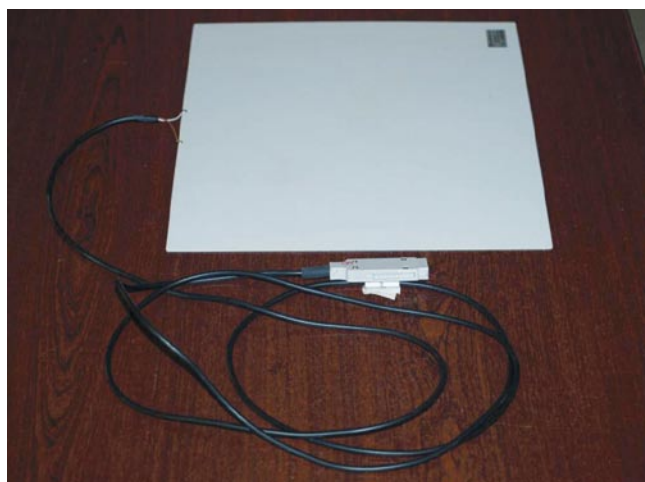
Rys. 8. Płytowe czujniki typu termopara zamocowane na ścianie osłonowej budynku mieszkalnego – OWT – 67 (fot. archiwum autora)



Rys. 9. Rejestrator pomiarów – na rysunku 2 oznaczony pod nr 5 (fot. archiwum autora)



Rys. 13. Czujnik termiczno-wilgotnościowy [10] (fot. archiwum autora)



Rys. 10. Czujnik typu termopara (rys. 2 – nr 4) 119 – FQA019C [10] (fot. archiwum autora)

Rys. 14. Anemometr (fot. archiwum autora)



3. Podsumowanie

Niniejsza pierwsza część czteroczęściowej publikacji dotyczącej pomiaru wartości współczynnika przenikania ciepła zawiera materiał, w którym poruszono kontekst budowy stanowiska terenowego (in situ), które może być również wykorzystane jako stricte laboratoryjne. W dobie, gdy wartość współczynnika przenikania ciepła jest kryterium o logicznej tendencji spadkowej, publikacja (i jej kolejne części) będą pomocne w rozwiązaniu omawianego problemu technicznego. Problem z punktu widzenia braków w krajowej normalizacji technicznej – brak tłumaczenia normy [6] na język ojczysty, jest o zasięgu ogólnokrajowym.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, poz. 926, Warszawa, dnia 13 sierpnia 2013 r.
- [2] Bieranowski P., Współczynnik przenikania ciepła w świetle nowego Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej. Badanie współczynnika przenikania ciepła w warunkach in situ, Część 1 – Wprowadzenie, Przegląd Budowlany 2/2014, str. 16–21
- [3] Bieranowski P., Współczynnik przenikania ciepła w świetle nowego Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej. Badanie współczynnika przenikania ciepła w warunkach in situ, Część 2 – Badania, Przegląd Budowlany 3/2014, str. 25–30
- [4] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania

Rys. 15. Autor na stanowisku in situ do pomiaru współczynnika przenikania ciepła konstrukcji ścian zewnętrznych budynków. Budynek Wydziału Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (fot. archiwum autora)



- [5] PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Tabelaryczne wartości obliczeniowe
- [6] EN ISO 9869 Thermal insulation – Building elements – In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. First edition 1994-08-01
- [7] Fenghao W., Dongyang W., Xinke W., Jianbo Y., A data analysis method for detecting wall thermal resistance considering wind velocity in situ. Energy and Buildings 42/2010
- [8] Baldinelli G., A methodology for experimental evaluations of low-e barriers thermal properties: Field test and comparison with theoretical model, Building and Environment 45/2010
- [9] Pomiary cieplne, Praca zbiorowa pod redakcją Fodemskiego T. R., rozdział 3, Długoszewski B., Fodemski T. R. Pomiar temperatury, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001
- [10] Ahlborn Katalog, Holzkirchen, 2015
- [11] Program komputerowy AMR WinControl

XVI KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA WARSZTAT PRACY RZECZOZNAWCY BUDOWLANEGO

Kielce – Cedzyna 26-28 października 2020 r.

ORGANIZATORZY

- PZITB Oddział Kielce,
- Politechnika Świętokrzyska Wydział Budownictwa i Architektury

KOMITET NAUKOWO-PROGRAMOWY

Przewodniczący Prof. dr hab. inż. Leonard RUNKIEWICZ

Sekretarz Dr hab. inż. Barbara GOSZCZYŃSKA, prof. PŚk

TEMATYKA WARSZTATÓW

1. Zagadnienia formalnoprawne w działalności Rzeczoznawcy i Specjalisty Budowlanego.
2. Systemy monitoringu i nieniszczące metody badawcze stosowane w ocenie stanu technicznego obiektów budowlanych z analizą wyników i przykładami zastosowań.
3. Oceny stanów technicznych i trwałości konstrukcji z uwzględnieniem wpływu środowiska i innych oddziaływań zewnętrznych.
4. Zagadnienia obejmujące stosowanie nowoczesnych materiałów i technologii budowlanych.
5. Metody oceny właściwości cieplnych obiektów budowlanych.
6. Ocena bezpieczeństwa obiektów po pożarze.

TERMINY ORGANIZACYJNE*

15.09.2020 – Zgłoszenie uczestnictwa drogą elektroniczną: www.rzeczoznawstwo2020.tu.kielce.pl

15.09.2020 – Zamieszczenie na stronie internetowej szczegółowego programu Konferencji oraz przesłanie programu do osób przyjętych na Konferencję

15.09.2020 – Zgłoszenie promocji – drogą elektroniczną

22.10.2020 – Przesłanie do Komitetu Organizacyjnego prezentacji przygotowanych w formacie PowerPoint (*.ppt lub *.pptx)

ADRES KOMITETU ORGANIZACYJNEGO

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury

„Rzeczoznawstwo 2020”

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7

tel. +48 41 34 24 808, fax +48 41 34 43 784

e-mail: rzeczoznawstwo2020@tu.kielce.pl

www.rzeczoznawstwo2020.tu.kielce.pl

* Po przesunięciu terminu Konferencji na październik

** Uczestnicy Konferencji otrzymają zaświadczenie o odbyciu szkolenia zawodowego, wydane przez organizatorów.