

Wpływ temperatury, wilgotności i kierunku badań na wartość współczynnika przewodności cieplnej λ w różnych gatunkach drewna

Maciej Trochonowicz, Nina Kołodziejczuk

Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, m.trochonowicz@pollub.pl

Streszczenie: Głównym celem artykułu jest przybliżenie problematyki związanej z wpływem temperatury badania oraz wilgotności na zmianę wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ dla różnych gatunków drewna stosowanego w obiektach budowlanych. W opracowaniu przedstawiono również wyniki badań wpływu gęstości drewna i kierunku badania na wartość współczynnika przewodności cieplnej.

Słowa kluczowe: drewno, współczynnik przewodności cieplnej λ dla drewna, izolacyjność cieplna drewna

1. Wprowadzenie

Opracowanie ma na celu przybliżenie zagadnienia jakim jest przewodność ciepła w drewnie. W ramach prowadzonych badań wyznaczono wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla różnych gatunków drewna wykorzystywanych w budownictwie. Badania objęły gatunki wykorzystywane jako materiał konstrukcyjny oraz stosowany w pracach wykończeniowych. W pierwszej części opisano stanowisko badawcze i sposób przygotowania próbek. Drugą główną część artykułu to prezentacja uzyskanych wyników.

Głównym celem prowadzonych badań było wyznaczenie współczynnika przewodzenia ciepła λ w zależności od temperatury badania oraz wilgotności próbek. Badanie wpływu temperatury zostało wykonane na pięciu gatunkach drewna. Każdy gatunek przebadany został w trzech powtórzeniach. Kolejnym etapem było określenie zmiany współczynnika przewodzenia ciepła λ w zależności od wilgotności badanej próbki. Oznaczenia wykonano dla stanu powietrzno-suchego oraz dla próbek, które swoją wilgotność uzyskały w warunkach laboratoryjnych. Badania zostały wykonane dla trzynastu gatunków drewna. Na podstawie otrzymanych wyników i po obliczeniu gęstości próbek wyznaczono wykres zależności współczynnika λ od gęstości drewna. Ostatnia część badań miała na celu wykazanie zależności współczynnika przewodzenia ciepła od kierunku badania danej próbki. Badanie wykonano wzdłuż i w poprzek włókien tej samej próbki. Wszystkie wyniki przedstawiono w formie tabel i wykresów.

Podczas analizy literatury stwierdzono, że ilość informacji odnośnie wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ dla drewna jest stosunkowo niewielka. Informacje dotyczą najczęściej drewna z podziałem na gęstości (bez uwzględnienia gatunku czy też podziału na drewno liściaste i iglaste). W części analizowanych materiałów brak jest temperatury lub też przy jakiej wilgotności w jakiej uzyskano wyniki. 2 3458

2. Stanowisko do badań

Badanie współczynnika przewodzenia ciepła λ opiera się na metodzie ustalonego strumienia ciepłego, w której strumień ciepła przechodzący przez próbkę materiału powinien mieć stałą wartość, a temperatura próbki w każdym punkcie powinna być ustalona. Współczynnik przewodzenia ciepła badanego materiału określa się mierząc gęstość strumienia ciepłego i różnicę temperatury po obu stronach próbki.

Do wyznaczenia współczynnika λ został użyty instrument firmy LaserComp. Został on zaprojektowany i wykonany zgodnie z normą ASTM C518-91 „Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus”. Instrument firmy LaserComp FOX 314 składa się z komory pomiarowej i podstawy w której znajduje się wyświetlacz i klawiatura. Po otwarciu drzwi komory pomiarowej, między płytami umieszcza się próbkę. Górna płyta jest zamontowana na stałe, a dolna ma możliwość ruchu w pionie. Na każdym z narożników dolnej płyty zamontowano cyfrowy system pomiaru ułożenia płyty. Po każdym zamknięciu płyt na próbce dokonywany jest odczyt średniej wartości z czterech czujników. Dokładność odczytu jest w granicach $\pm 0,025$ mm. Obie płyty wyposażono w system chłodząco-grzewczy. Składa się on z grup elementów termoelektrycznych (elementy Peltiera), kontrolowanych niezależnie dla środkowej i zewnętrznej części każdej z płyt. Przy temperaturze cieczy chłodzącej wynoszącej ~ 18 °C lub mniej, temperatury płyt mogą być niezależnie utrzymywane na dowolnej wartości zakresu od -20 do 95 °C z dokładnością do $0,02$ °C.

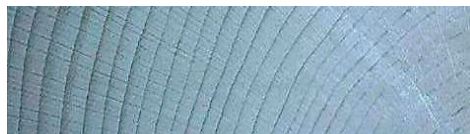
Przed rozpoczęciem badań przeprowadzono kalibrację instrumentu w celu sprawdzenia dokładności pomiarów. Kalibrację przeprowadzono przy użyciu próbki referencyjnej o identyfikatorze S117. Próbka jest wykonana z wełny mineralnej o gęstości $76,7$ kg/m³. Wymiary próbki to (długość x szerokość x grubość): $301*301*34,2$ mm. Kalibrację rozpoczęto od umieszczenia próbki w komorze pomiarowej, następnie wprowadzono ręcznie jej grubość z uwagi na możliwość zgniecenia próbki przy automatycznym pomiarze grubości, co mogłoby niekorzystnie wpłynąć na rezultat kalibracji. Zakres temperatur, jaki wybrano do pomiaru to $10-30$ °C, zgodny z zakresami załączonymi w instrukcji urządzenia. Błąd pomiaru kalibracyjnego wyniósł $0,22\%$, przy maksymalnym dopuszczalnym błędzie wynoszącym 2% , co oznacza, iż kalibracja urządzenia została przeprowadzona poprawnie.

3. Badania próbek

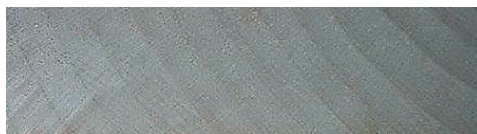
Zgromadzone materiały do badań sezonowano przez 60 dni w warunkach laboratoryjnych. Następnie próbki zostały docięte na odpowiedni wymiar i zheblowane tak aby uzyskać płaską powierzchnię. Oznaczenie współczynnika przewodzenia ciepła wykonano przy temp. $12,5$ °C (dolna płyta $L=0$ °C i górna płyta $U=25$ °C). Po wykonaniu badań próbki przeniesiono do suszarki gdzie były przechowywane do osiągnięcia stałej masy w temperaturze 60 °C. Proces ten niekorzystnie wpłynął na kształt próbek, doszło do wypaczenia i badane powierzchnie przestały być równoległe. Wymusiło to konieczność ponownego poddania procesowi heblowania. Po uzyskaniu prostokątowości określono gęstość każdej próbki. Badania wartości współczynnika przewodności dla drewna w stanie powietrzno-suchym wykonano przy identycznym zakresie jak w przypadku próbek sezonowanych w laboratorium. Wyniki zamieszczono w Tab. 1.



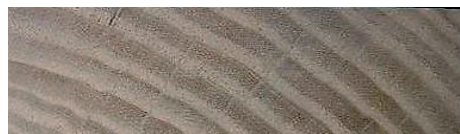
Rys. 1. Przekrój w poprzek włókien próbki - Dąb



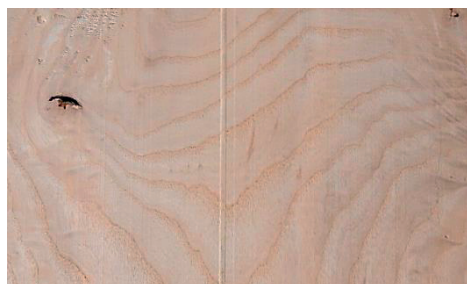
Rys. 2. Przekrój w poprzek włókien próbki - Buk



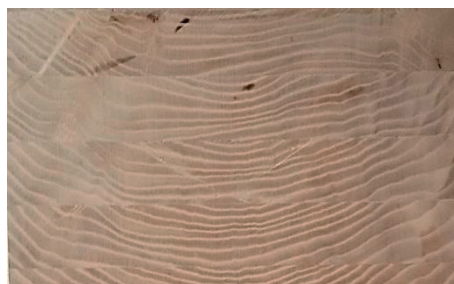
Rys. 3. Przekrój w poprzek włókien próbki - Jawor



Rys. 4. Przekrój w poprzek włókien próbki - Jesion



Rys. 5. Jesion – próbka przygotowana do badania w poprzek włókien



Rys. 6. Jesion – próbka przygotowana do badania wzdłuż włókien

Tabela 1. Wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ w zależności od wilgotności drewna

Gatunek drewna	λ^{**} [W/mK]	λ^{***} [W/mK]	Wilgotność masowa [%]	Gęstość objętościowa [kg/m ³]
Bambus	0,133	0,133	0,6	1063
Brzoza	0,106	0,111	3,7	580
Buk*	0,141	0,143	3,2	715-732
Dąb*	0,133	0,138	2,7	640-664
Jawor*	0,141	0,143	3,2	614-625
Jesion*	0,119	0,124	2,7	698-720
Klon	0,125	0,132	6,0	568
Olcha	0,094	0,101	5,0	475
Orzech	0,117	0,124	2,3	582
Osika	0,103	0,107	3,8	416
Sosna*	0,105	0,117	3,5	512-616
Świerk	0,101	0,104	3,5	417
Topola	0,079	0,081	3,7	255

* wartość λ obliczona jako średnia z minimum 3 próbek** wartość λ dla próbek drewna przy 0% wilgotności masowej*** wartość λ dla próbek drewna sezonowanego w temperaturze 25°C i wilgotności powietrza 60%

Kolejnym etapem było wyznaczenie wpływu temperatury badania na wartość współczynnika λ . Badaniom poddano 5 gatunków drewna (dąb, jawor, buk, jesion, sosna), każdorazowo wykonując oznaczenie dla trzech próbek. Badania wykonano dla 4 temperatur od 12,5°C do 42,5°C. Badania były wykonywane w następujących zakresach temperatur:

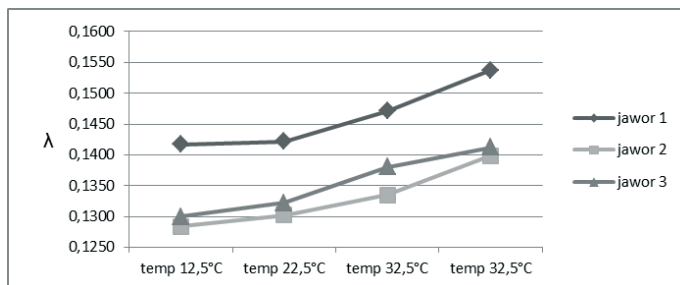
U1=0°C	L1=25°C	temp 12,5°C
U2=10°C	L2=35°C	temp 22,5°C
U1=20°C	L1=45°C	temp 32,5°C
U2=30°C	L2=55°C	temp 42,5°C

Ze względu na możliwość utraty wilgotności podczas badania (wysoka temperatura i długi czas oznaczania) zdecydowano, że pomiary wykonane zostaną jedynie dla próbek w stanie powietrzno-suchym. Po zakończeniu każdego pojedynczego badania badaniu próbki trafiały do suszarki tak aby przy kolejnym badaniu ich wilgotność oscylowała w granicach 0%. Każdorazowo kontrolowano masę próbek oraz sprawdzano równoległość płaszczyzn pomiarowych. Poniżej zamieszczono tabelę z wynikami badań (Tab. 2), przykładowy wykres wpływu temperatury badania na wartość współczynnika przewodzenia ciepła dla jednego z gatunków (Rys. 7), zbiorczy wykres dla wartości średnich z badań wszystkich 5 gatunków (Rys. 8).

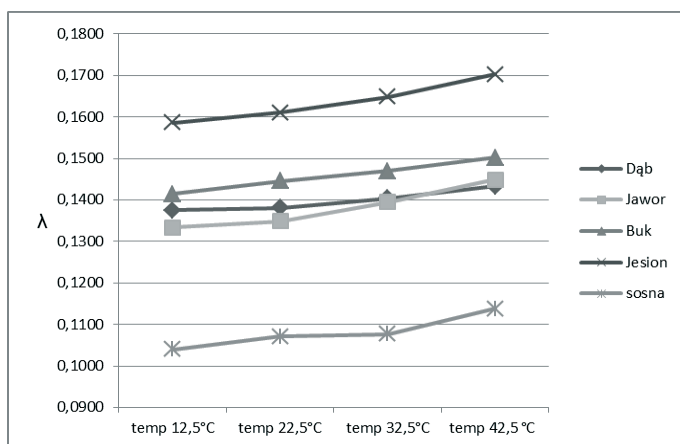
Tabela 2. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ_w zależności od temperatury badania

Gatunek	λ w temp 12,5°C	λ w temp 22,5°C	λ w temp 32,5°C	λ w temp 32,5°C
dąb 1	0,1558	0,1565	0,1582	0,1637
dąb 2	0,1287	0,1289	0,1313	0,1326
dąb 3	0,1282	0,1289	0,1319	0,1336
DĄB*	0,1376	0,1381	0,1405	0,1433
jawor 1	0,1417	0,1422	0,1471	0,1537
jawor 2	0,1284	0,1302	0,1335	0,1399
jawor 3	0,1300	0,1322	0,1380	0,1412
JAWOR*	0,1334	0,1349	0,1395	0,1449
buk 1	0,1433	0,1464	0,1503	0,1503
buk 2	0,1394	0,1437	0,1443	0,1507
buk 3	0,1415	0,1435	0,1465	0,1495
BUK*	0,1414	0,1445	0,1470	0,1502
jesion 1	0,1646	0,1672	0,1724	0,1766
jesion 2	0,1572	0,1568	0,1613	0,1646
jesion 3	0,1539	0,1592	0,1619	0,1696
JESION*	0,1586	0,1611	0,1652	0,1703
sosna 1	0,0990	0,1030	0,1052	0,1079
sosna 2	0,0917	0,0947	0,0946	0,0967
sosna 3	0,1213	0,1235	0,1234	0,1368
SOSNA*	0,1040	0,1071	0,1077	0,1138

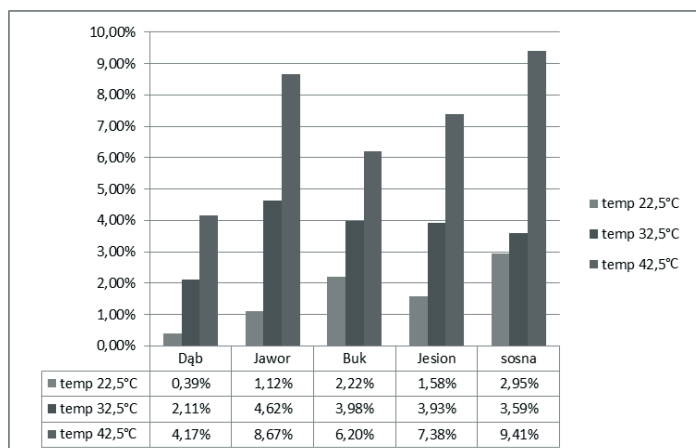
*Wartość średnia z trzech próbek



Rys. 7. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła λ od temperatury badania – drewno jawor



Rys. 8. Zbiorczy wykres zależność współczynnika przewodzenia ciepła λ od temperatury. Wykres opracowany dla wartości średniej z trzech próbek – dąb, jawor, buk, jesion i sosna.



Rys. 9. Procentowy wzrost współczynnika przewodzenia ciepła λ w zależności od zakresu temperatury. Poziom odniesienia wartość współczynnika λ przy temperaturze 12,5°C.

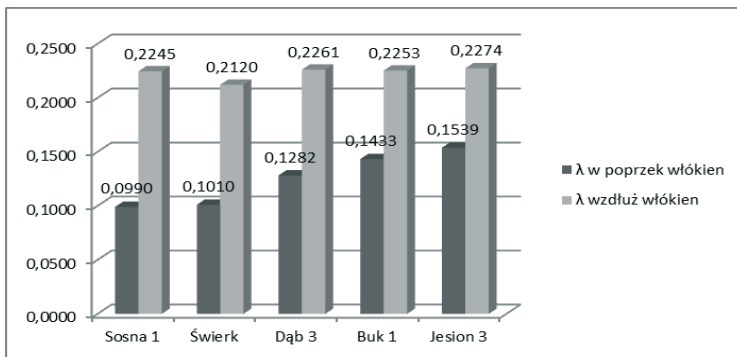
Stwierdzono, że wzrost temperatury badania wpływa w sposób niemalże liniowy na wzrost współczynnika λ we wszystkich badanych gatunkach drewna. Aby móc porównać wielkość wpływu temperatury na przewodność cieplną każdego z badanych pięciu gatun-

ków drewna obliczono procentowy wzrost współczynnika λ przy założeniu że wartością bazową jest współczynnik przewodzenia ciepła λ w temperaturze 12,5°C. Jako temperaturę odniesienia przyjęto temperaturę 22,5°C, 32,5°C i 42,5°C. Otrzymane wyniki obliczeń wykazują znaczne różnice między danymi gatunkami drewna. Najmniejszy wzrost zaobserwowano w przypadku dębu – 4,17%, Największy wzrost zaobserwowano w przypadku sosny – 9,41% (Rys. 9).

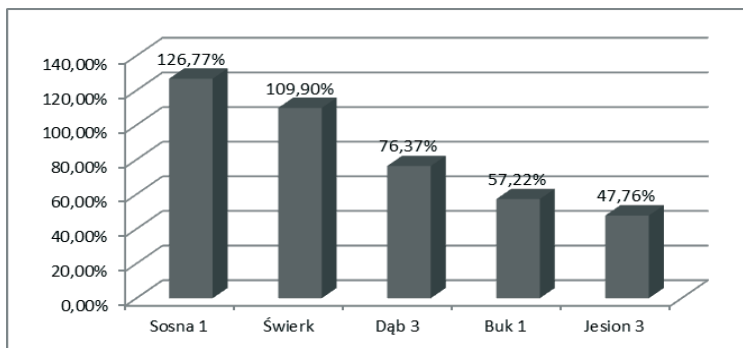
Celem kolejnego badania było wyznaczenie wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla drewna przy przepływie strumienia ciepła wzdłuż włókien. Do badań wybrano 5 próbek różnych gatunków drewna. Wybrano próbki, dla których wcześniej prowadzono oznaczenia w poprzek włókien, a ich grubość umożliwiała wykonanie nowych próbek. Wybór wcześniej badanych próbek wynikał z faktu, że porównanie wyników jest możliwe tylko dla tego samego fragmentu drewna (materiał niejednorodny). Wybrane próbki pocięte zostały na kawałki o szerokości 25 mm, obrócone o 90°, a następnie w takiej samej kolejności sklezione. Uzyskano próbki o wymiarach 300*300*25mm. Probki wysuszono do stałej masy. Temperaturę urządzenia ustalono na 12,5°C (dolnej płyty L = 0°C i górnej płyty U = 25°C). Wyniki badań zamieszczono w Tab. 3 i na Rys. 10.

Tabela 3. Zestawienie wyników badania współczynnika przewodzenia ciepła λ wzdłuż i w poprzek włókien

Kierunek przepływu ciepła	Sosna 1	Świerk	Dąb 3	Buk 1	Jesion 3
W poprzek włókien	0,0990	0,1010	0,1282	0,1433	0,1539
Wzdłuż włókien	0,2245	0,2120	0,2261	0,2253	0,2274



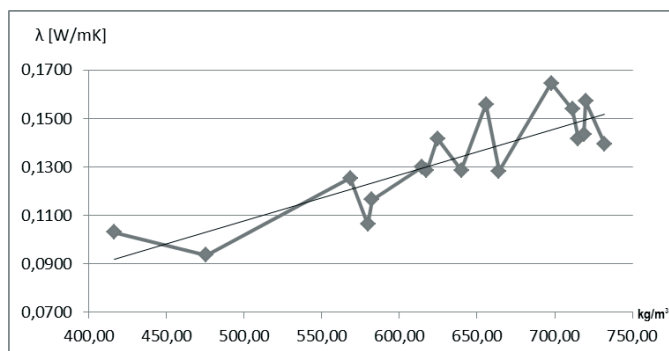
Rys. 10. Zestawienie badań wzdłuż i w poprzek włókien



Rys. 11. Procentowy wzrost współczynnika przewodzenia ciepła λ badanego wzdłuż włókien w stosunku do badanego w poprzek włókien

Stwierdzono, że różnice między wynikiem uzyskanym w poprzek a wzdłuż włókien są znaczne i sięgają od prawie 48% do 127% (Rys. 11). Zauważono również, że pomimo dużych różnic między współczynnikami przewodzenia ciepła badanymi w poprzek włókien już w trakcie badania wzdłuż nie były one tak zauważalne.

Po wykonaniu zestawienia wykonano wykres (Rys. 12) wpływu gęstości drewna na wartość współczynnika przewodzenia ciepła dla gatunków liściastych (10 gatunków 17 próbek). Wykonanie wykresu dla gatunków iglastych było niemożliwe z powodu zbyt małej ilości gatunków objętych badaniami.



Rys. 12. Wykres zależności współczynnika λ od gęstości próbki – drewno liściaste 10

W celu porównania informacji zawartych w literaturze z własnymi badaniami wszystkie wyniki zestawiono w tabeli. W zestawieniu wzięto pod uwagę zarówno współczynnik przenikania ciepła λ jak i gęstość badanego drewna. Zestawienie objęło wyniki badań własnych oraz trzy pozycje literaturowe (Tab. 4).

Tabela 4. Porównanie wyników własnych z współczynnikami przewodzenia publikowanymi w innych źródłach

Gatunek	Badania własne*		K. Krzysik 2**		K. Raznijićevic 8***		Norma 3****	
	Gęstość [kg/m ³]	λ [W/mK]	Gęstość [kg/m ³]	λ [W/mK]	Gęstość [kg/m ³]	λ [W/mK]	Gęstość [kg/m ³]	λ [W/mK]
Bambus	1063	0,1329	-	-	-	-	-	-
Brzoza	580	0,1105	510-830	0,12	680	0,115	-	-
Buk	715-732	0,1388-0,1422	540-910	0,13	700-900	0,18-0,23	-	-
Dąb	640-664	0,1301-0,1513	430-960	0,11-0,17	650	0,209	800	0,22
Jawor	614-625	0,1331-0,1452	530-790	0,137-0,156	710	0,136	-	-
Jesion	698-720	0,1562-0,1639	480-940	0,15	740	0,14	-	-
Klon	568	0,1324	560-810	0,121	-	-	-	-
Olcha	475	0,1014	420-640	0,104	-	-	-	-
Orzech	582	0,1237	680	0,091	700	0,23	-	-
Osika	416	0,1072	440	0,94	-	-	-	-
Sosna	512-616	0,0939-0,1338	330-890	0,12	400-600	0,11-0,16	550	0,16
Świerk	417	0,1037	330-680	0,076-0,09	400-600	0,11-0,16	550	0,16
Topola	255	0,0799	410-560	0,117	-	-	-	-

* Temperatura 12,5°C, wilgotność drewna laboratoryjna (do 6,25%)

** Wilgotność drewna (10-15%)

*** Temperatura 0-30°C

**** Warunki średniowilgotne

Porównując wyniki otrzymane podczas badań w laboratorium z wynikami w publikacji z 1974 r. 2 zauważyć można, że wyniki w większości pokrywają się ze sobą. Nie potwierdza się to jedynie w przypadku orzecha, świerku, topoli oraz osiki. Najprawdopodobniej spowodowane jest to różnicami w gęstości próbek. Dla osiki wartość współczynnika λ podana w 2 jest tak duża, iż można przypuszczać, że jest to po prostu błąd edycyjny. Wyniki zawarte w „Tablice cieplne z wykresami” 8 różnią się od otrzymanych przez autorów w sposób bardziej wyraźny. Zbieżność stwierdzono jedynie w wynikach jaworu i sosny. W przypadku normy wybrano jej wersję wycofaną i zastąpioną, ze względu większą ilość informacji w stosunku do obecnie obowiązującej. W normie 3 podane były współczynniki przewodzenia ciepła dla trzech gatunków drewna: sosna, świerk i dąb dla badania wzdłuż i w poprzek włókien. Niestety podane gęstości wyraźnie różniły się od gęstości próbek objętych badaniami własnymi, co uniemożliwiło ich porównanie.

Literatura

- 1 *Instrukcja obsługi instrumentu Laser Comp FOX 314.*
- 2 Krzysik F., *Nauka o drewnie*, Warszawa 1974, PWN.
- 3 PN-91 B-02020 *Ochrona cieplna budynków – Wymagania i obliczenia.*
- 4 PN-EN 12524:2000 *Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Tabelaryczne wartości obliczeniowe.*
- 5 PN-EN ISO 10456:2009 *Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Tabelaryczne wartości obliczeniowe.*
- 6 Praca zbiorowa pod kierunkiem P. Klemma: *Budownictwo ogólne. Tom 1. Materiały i wyroby budowlane.* Arkady, Warszawa 2005.
- 7 Praca zbiorowa pod kierunkiem P. Klemma: *Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli.* Arkady, Warszawa 2005.
- 8 Raznijevic K., *Tablice cieplne z wykresami*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.

The impact of temperature, humidity and the direction of analysis on thermal conductivity λ in different types of wood

Maciej Trochonowicz, Nina Kołodziejczuk

*Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture
Chair of Historic Buildings Preservation*

Summary: The main aim of the article is to present the issues related to the impact of temperature and humidity on thermal conductivity λ in different types of wood used in building structure. In this elaboration authors present the results of laboratory test. Authors checked the impact of the direction of analysis and density of wood on thermal conductivity λ in wooden elements.

Key words: wood, wood thermal conductivity λ , wood insulation