

st. kpt. dr inż. Paweł OGRODNIK
SGSP, WIBP, Katedra Techniki Pożarniczej, Zakład Mechaniki Stosowanej
st. ogn. pchor. inż. Bartłomiej TATKA

Badanie wpływu modyfikacji termicznej na zachowanie elementów rozciąganych w podwyższonych temperaturach

Omówienie
LEAD

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu rodzaju modyfikacji termicznej na wytrzymałość drewna przy rozciąganiu podczas oddziaływania termicznego. W badaniach wykorzystano próbki o kształtach i wymiarach zgodnych z obowiązującą normą. Modyfikacja termiczna próbek drewnianych została przeprowadzona w dwóch różnych procesach do temperatury maksymalnej wynoszącej odpowiednio 165°C oraz 210°C. Badania wytrzymałościowe zostały wykonane na uniwersalnej maszynie typu FPZ 100/1 z jednoczesnym ogrzewaniem próbek do 200°C. Wyniki badań przedstawione w formie tabelarycznej wykazały istotny wpływ modyfikacji termicznej na wytrzymałość drewna zarówno w temperaturze normalnej po ochłodzeniu próbek do temperatury otoczenia, jak i w podwyższonej. Wykazano również różnice, które występują podczas badań wytrzymałościowych w zakresie zniszczenia próbek. W przypadku badań prowadzonych w 200°C zniszczenie próbek jest równomierne i następuje w środku ich długości, natomiast w temperaturze normalnej, 20°C, rozciągane drewno rozrywało się w sposób nierównomierny.

Słowa kluczowe: modyfikacja termiczna, wysokie temperatury, konstrukcje drewniane.

Wstęp

Modyfikacja termiczna drewna jest jednym z najstarszych procesów stosowanych do poprawy właściwości użytkowych drewna. Była ona przeprowadzana już w czasach starożytnych, w celu polepszania twardości grotów strzał. Stosowano ją również, aby poprawić właściwości elementów konstrukcyjnych i masztów. Dzięki opalaniu w ogniu, na powierzchni drewna powstaje warstwa zwęglona, która jednocześnie spełnia zadania elementu izolacyjnego. Na skutek działania ognia zmieniają się też właściwości materiałów drewnianych – wzrasta twardość oraz zwiększa się odporność na warunki atmosferyczne czy też działanie owadów

i grzybów. Dodatkowo następuje zmiana właściwości estetycznych – ciemnienie drewna. Obecnie metoda ta znajduje coraz większe zastosowanie w budownictwie. Ogólnie modyfikacja termiczna drewna to proces polegający na ogrzewaniu podsuszonego wcześniej drewna do temperatury od około 160°C do około 220°C i utrzymywaniu w tak wysokiej temperaturze w odpowiednio przewidzianym czasie. Zarówno temperatura, jak i czas całego procesu, mają istotne znaczenie, jeżeli chodzi o efekt estetyczny oraz pożądane właściwości wytrzymałościowe [2].

Wielkość zmian fizycznych i mechanicznych powstałych podczas procesu zależy od: gatunku drewna, czasu modyfikacji, środowiska modyfikacji (brak środowiska bądź np. przegrzana para wodna), wymiarów próbek, temperatury modyfikacji, zawartości wody w modyfikowanym materiale. W zależności od wyżej wymienionych czynników dochodzi w mniejszym bądź większym stopniu do następujących zmian: zmniejszenie przewodności cieplnej, zmniejszenie skurczu i spęcznienia, zwiększenie twardości drewna, zmniejszenie wytrzymałości na zginanie, zwiększenie wytrzymałości na ściskanie, zwiększenie podatności na promienie UV, zwiększenie kruchości drewna, zmniejszenie odporności na ścieranie, zmiana barwy na ciemniejszą, zmniejszenie gęstości drewna, zmniejszenie nasiąkliwości drewna, zmniejszenie wilgotności równoważnej dla danych parametrów powietrza, zmiana odporności na grzyby i owady.

Proces modyfikacji termicznej drewna w praktyce odbywa się zazwyczaj w środowiskach gazowych, najczęściej w obecności przegrzanej pary wodnej. Istnieje kilka podziałów na fazy procesu termicznej modyfikacji drewna [2]. Przykładowy proces modyfikacji termicznej w środowisku pary wodnej przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Fazy procesu termicznej modyfikacji drewna

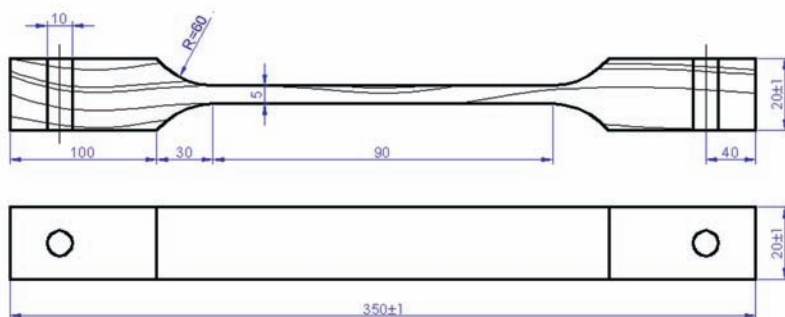
Faza	Postęp procesu
Faza I	Intensywne ogrzewanie do ok. 110°C, suszenie drewna.
Faza II	Wolne nagrzewanie w obecności przegrzanej pary wodnej do zadanej temperatury oraz ostateczne dosuszanie drewna.
Faza III	Proces modyfikacji termicznej w obecności przegrzanej pary wodnej w odpowiednio długim czasie przy zachowaniu stałej temperatury.
Faza IV	Schładzanie przy pomocy rozpylonej wody do około 80°C.
Faza V	Dalsze schładzanie do temperatury końcowej i klimatyzacja.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Glijer L., Suszenie drewna i nie tylko, Wieś Jutra, Warszawa 2011, s. 136.

1. Materiał próbek i metoda badawcza

1.1. Modyfikacja termiczna próbek

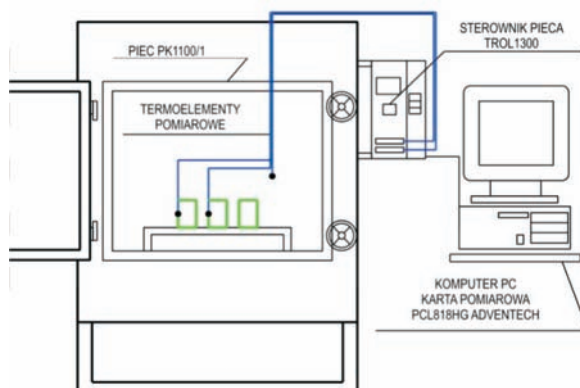
Do badań wykorzystano próbki z drewna sosnowego, które zostały wykonane zgodnie z normą PN-81/D-04107 Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien. Kształt próbki do badań wytrzymałości na rozciąganie przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Próbkę do badania wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien

Źródło: Opracowanie własne.

Ogólnie w badaniach zostało wykorzystanych 60 próbek. Przed przystąpieniem do wykonania badań, próbki leżakowały przez pół roku w temperaturze 20°C. Po tym czasie uzyskano wilgotność próbek na poziomie około 8%. Ponadto wszystkie próbki zostały dokładnie obejrzone w celu wykluczenia wad materiałowych. Kierunek włókien we wszystkich przygotowanych próbkach był zgodny z osią. Całe badanie przebiegało dwufazowo. Najpierw próbki zostały poddane modyfikacji termicznej w średniotemperaturowym elektrycznym piecu komorowym typu PK 1100/5. Cały proces, jak również rejestracja temperatury, był monitorowany za pomocą komputera PC wyposażonego w termoelementy pomiarowe oraz oprogramowanie AGIMAG rejestrujące temperatury w czasie przeprowadzania modyfikacji termicznej. Schemat stanowiska badawczego został przedstawiony na rys. 2.



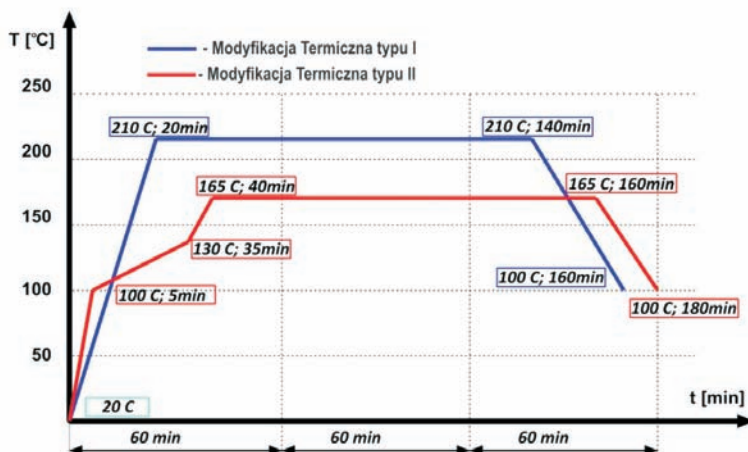
Rys. 2. Schemat stanowiska do wykonania modyfikacji termicznej

Źródło: Opracowanie własne.

Przed przystąpieniem do procesu modyfikacji wszystkie próbki zostały podzielone na dwie równe grupy. Część z nich została poddana modyfikacji termicznej w temperaturze maksymalnej 165°C, a pozostałe w temperaturze 210°C.

Modyfikacja termiczna według pierwszego założonego typu odbyła się w trzech etapach. W pierwszej części próbki zostały ogrzane do temperatury 210°C w czasie 20 minut. W etapie drugim próbki były przetrzymywane w temperaturze 210°C przez 120 minut. Etap ten miał kluczowe znaczenie dla całego procesu modyfikacji. W etapie trzecim próbki były ochładzane do 100°C przez 20 minut.

W przypadku drugiej metody modyfikacja termiczna została podzielona na pięć etapów. W pierwszym z nich próbki zostały ogrzane przez 5 minut do temperatury 100°C. Następnie przez 30 minut temperatura w piecu była podnoszona do 130°C. Podczas etapu trzeciego przez 5 minut temperatura wzrosła do wartości maksymalnej 165°C i w etapie czwartym była ona utrzymana przez 120 minut. Ostatni etap modyfikacji dotyczył ochłodzenia próbek do temperatury 100°C przez 20 minut. Po przeprowadzeniu procesu modyfikacji w obydwu przypadkach próbki były wyciągane z pieca i ochładzane swobodnie do temperatury otoczenia. Szczegółowy rozkład temperatury podczas obydwu przeprowadzonych typów modyfikacji przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Procesy modyfikacji termicznej drewna sosnowego

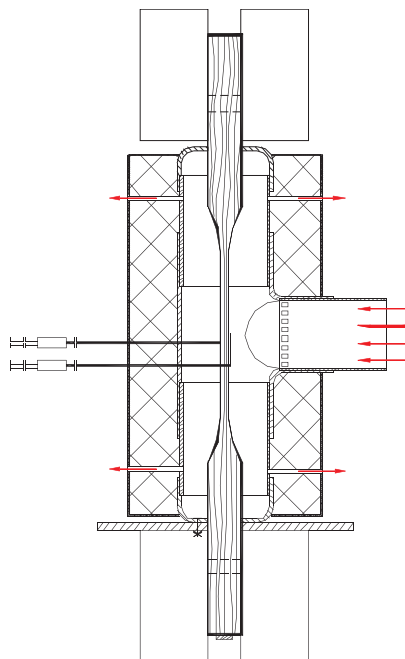
Źródło: Opracowanie własne.

1.2. Badania wytrzymałościowe

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej FPZ 100/1 (VEB Thüringer Industriewerk Rauenstein, Niemcy), która umożliwia obciążenie siłą statyczną oraz utrzymanie jej w układzie pionowym na stałym założonym poziomie. Maksymalna wytwarzana przez maszynę siła statyczna wynosi 100 kN. Maszyna ma cztery zakresy prędkości przesuwu trawersy. W czasie badań użyty został zakres prędkości przesuwu trawersy I/III, który pozwala na przesuw trawersy z prędkością $0,021 \div 0,84$ mm/min.

Przed przystąpieniem do badań wytrzymałościowych próbki były mocowane w szczękach maszyny wytrzymałościowej. Aby zapobiec samoczynnemu wysu-

waniu się próbek podczas badania wytrzymałości na rozciąganie, w otworach wykonanych w próbce zostały umieszczone sworznie o średnicy 10 mm i długości 20 mm, które miały dodatkowo zabezpieczyć elementy próbki przed zgnieciem w uchwytach maszyny wytrzymałościowej.



Rys. 4. Schemat układu badawczego do oznaczenia wytrzymałości na rozciąganie w podwyższonej temperaturze

Źródło: Opracowanie własne.

W pierwszym etapie dla 15 sztuk próbek dla każdej metody modyfikacji wykonane zostały badania wytrzymałościowe w temperaturze otoczenia wynoszącej 20°C. Podczas etapu drugiego wykonane były badania wytrzymałości na rozciąganie w podwyższonej temperaturze wynoszącej 200°C. Wzrost temperatury w komorze podczas badania przeprowadzany był przy pomocy nawiewu gorącego powietrza za pomocą urządzenia typu GHG 650 LCE. Zakres temperatur uzyskiwanych u wylotu dyszy wynosił 50–560°C, a strumień gorącego powietrza można było regulować w zakresie 250–500 l/min.

Temperatura w komorze była rejestrowana w trakcie badania za pomocą termopary. Badanie polegało na ogrzewaniu komory do temperatury 200°C zgodnie z założonym rozkładem temperatura-czas zbliżonym do krzywej normowej temperatura-czas. Po osiągnięciu zadanej temperatury, była ona utrzymywana przez 120 s w celu nagrzania badanej próbki w całej objętości. Następnie przeprowadzono rozciąganie statyczne próbki. W czasie badania mierzono maksymalną siłę, przy której następuje zerwanie próbki.

2. Analiza otrzymanych wyników

Wytrzymałość na rozciąganie została obliczona zgodnie z normą PN-81/D-04107 na podstawie następującego wzoru:

$$R_{rw} = \frac{P_{max}}{A} \quad (1)$$

gdzie:

R_{rw} – wytrzymałość próbki na rozciąganie w [MPa],

P_{max} – siła niszcząca w [N],

A – pole przekroju zrywanej części próbki [mm²].

Wyniki wytrzymałości na rozciąganie drewna sosnowego modyfikowanego termicznie przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Wytrzymałość na rozciąganie drewna sosnowego modyfikowanego termicznie w temperaturze 165°C

Temperatura badania	N	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch. std.	Odch. std.
[°C]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
20	15	42,58	22,1	57,6	24,24	10,32
200	15	31,04	21,4	37,8	18,07	5,61

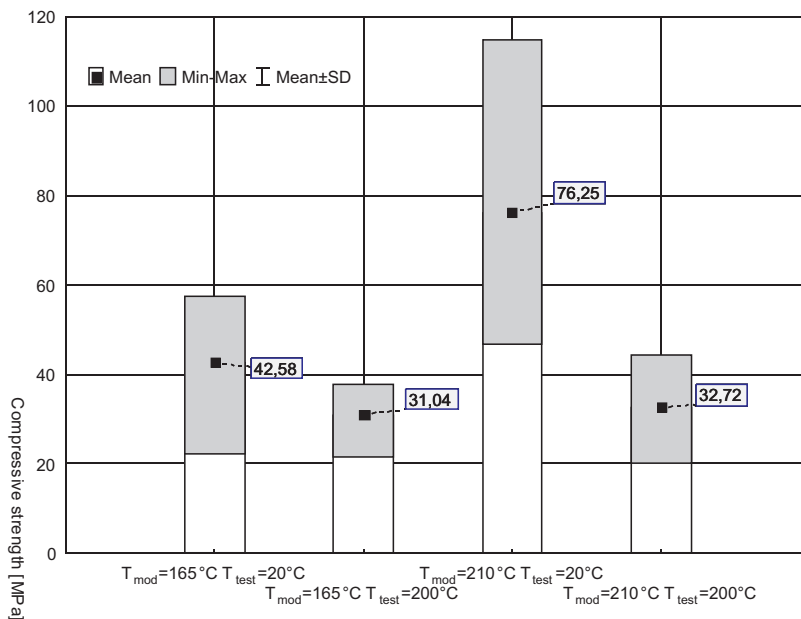
Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 3. Wytrzymałość na rozciąganie drewna sosnowego modyfikowanego termicznie w temperaturze 210°C

Temperatura badania	N	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch. std.	Odch. std.
[°C]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
20	15	76,25	46,6	114,9	21,69	16,54
200	15	32,72	20,3	44,2	22,43	7,34

Źródło: Opracowanie własne.

Spadek wytrzymałości na rozciąganie w podwyższonych temperaturach drewna modyfikowanego termicznie w 165°C, 210°C oraz wykres zbiorczy dla obu temperatur przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Spadek wytrzymałości na rozciąganie drewna sosnowego modyfikowanego termicznie w temperaturze 165°C i 210°C

Źródło: Opracowanie własne.

Wnioski

Na podstawie analizy przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski:

1. Modyfikacja termiczna drewna wpływa na jego wytrzymałość przy rozciąganiu. Wytrzymałość ta jest zróżnicowana i zależy od typu przeprowadzonej modyfikacji termicznej. Średnia wartość wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien w temperaturze 20°C dla drewna modyfikowanego termicznie w 165°C (II typ modyfikacji) wynosi 42,58 MPa, natomiast w przypadku drewna modyfikowanego w 210°C średnia wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien w temperaturze normalnej 20°C jest znacznie większa i wyniosła 76,25 MPa. Różnica ta wynosi zatem około 55,8%.
2. W badaniach wykazano istotny wpływ podwyższonej temperatury na spadek wytrzymałości drewna modyfikowanego termicznie.
3. W przypadku próbek poddanych nagrzewaniu do temperatury 200°C wytrzymałość na rozciąganie dla obydwu typów modyfikacji termicznej jest zbliżona. Średnia wartość wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien, dla drewna modyfikowanego termicznie w 165°C, wynosi 31,04 MPa, natomiast w przypadku drewna modyfikowanego w 210°C, średnia wytrzymałości na rozciąganie wynosi 32,72 MPa.
4. Dla obydwu typów modyfikacji odchylenia standardowe wyników pomiarów wytrzymałości drewna w temperaturze podwyższonej 200°C są znacząco

mniejsze od odchyień wyników wytrzymałości drewna w temperaturze normalnej 20°C.

5. W wyniku zastosowanej wysokotemperaturowej modyfikacji termicznej, drewno sosnowe zmienia swoją barwę. Po przeprowadzeniu modyfikacji termicznej w temperaturze 165°C widać niewielkie różnice w zmianie barwy, natomiast po wykonaniu modyfikacji w temperaturze 210°C drewno sosnowe wyraźnie ciemnieje.
6. Podczas badań wytrzymałościowych miały miejsce różnice w zniszczeniu próbek. Drewno rozciągane w temperaturze normalnej 20°C rozrywało się nierównomiernie. W przypadku badań prowadzonych w 200°C zniszczenie próbek jest równomierne i następuje w środku ich długości.
7. Dokładniejsze właściwości drewna sosnowego modyfikowanego termicznie mogłyby zostać zbadane dzięki badaniom uzupełniającym wytrzymałości na ściskanie oraz zginanie.

Przedstawiony artykuł może być podstawą do przeprowadzenia kolejnych badań wytrzymałościowych drewna sosnowego oraz innych gatunków poddanych procesowi modyfikacji termicznej. Obecnie materiał ten znajduje coraz szersze zastosowanie w budownictwie i przemyśle – ze względu na trwałość oraz swoje walory estetyczne, dlatego też tak ważne jest poznanie cech wytrzymałościowych drewna modyfikowanego termicznie w podwyższonych temperaturach.

Literatura

- [1] Bednarek Z., Kaliszuk-Wietecha A.: Analysis of the fire-protection impregnation influence on wood strength, *Journal of Civil Engineering and Management* 2007, vol. XIII, No 2 p. 79–85.
- [2] Bednarek Z., Ogrodnik P., Pieniak D.: Wytrzymałość na zginanie i niezawodność kompozytu drewnianego LVL w warunkach podwyższonych temperatur, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2010, nr 40.
- [3] Neuhaus H.: Budownictwo drewniane, PWT, Rzeszów 2006.
- [4] Kotwica J.: Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym, Arkady, Warszawa 2005.
- [5] Mielczarek Z.: Budownictwo drewniane, Arkady, Warszawa 1994.
- [6] Grześkiewicz M.: Drewno modyfikowane termicznie – przykłady zastosowań i badania nad ulepszeniem jakości, *Przemysł Drzewny* 2009, nr 5, s. 15–17.
- [7] Sundqvist B.: Colour Changes and Acid Formation in Wood During Heating, 2004.
- [8] Mayes D., Oksanen O.: ThermoWood® Handbook. Version 1,0, 2002.
- [9] Stefke B., Teischinger A.: Methoden der Holzmodifikation. Modifiziertes Holz, Eigenschaften und Märkte, *Holzwirtschaft an der Universität für Bodenkultur*, 2002.
- [10] PN-81/D-04107 Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien.

Paweł OGRODNIK
Bartłomiej TATKA

Testing the Influence of the Thermal Modification on the Spreading Elements Behaviour in the Increased Temperatures

The article presents the results of tests on the influence of the thermal modification on wood strength while being spread during thermal interaction. The shape and size of the samples used in the tests are compatible with the standard in force. The wood thermal modification has been done in two different processes up to max temperatures of 165°C and of 210°C. The strength tests have been made in the universal machine of the FPZ 100/1 type with the simultaneous heating the samples up to 200°C.

The tests results, presented in a tabular way, have shown the considerable influence of the thermal modification on wood strength, both in normal temperature after cooling the samples to surrounding temperature and in higher. Some differences which occur during the strength tests and during the failure of the test samples have been presented. During the tests conducted in the temp of 200°C, the failure of the test samples is at a uniform rate and occurs inside their length while in the normal temperature of 20°C the spreading wood was tearing itself in a non-uniform way.

Keywords: thermal modification, high temperatures, wooden constructions.