

st. kpt. dr inż. **Paweł OGRODNIK**¹
dr inż. **Daniel PIENIAK**¹
dr inż. **Aneta KRZYŻAK**²
mł. kpt. mgr inż. **Agata WALCZAK**¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 17.01.2014;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 21.08.2014;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2014;

BADANIE WPŁYWU PODWYŻSZONEJ TEMPERATURY NA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE DREWNA SOSNOWEGO IMPREGNOWANEGO ŚRODKIEM OGNIOCHRONNYM ZAWIERAJĄCYM SiO₂³

**Study on the Influence of High Temperatures on The Compressive Strength
of Pine Timber Treated With the Flame Retardant Containing SiO₂**

**Исследование влияния повышенной температуры на устойчивость
к сжатию древесины сосны, пропитанной огнезащитным веществом,
содержащим SiO₂ (диоксид кремния)**

Abstrakt

Cel: Celem artykułu było zaprezentowanie wyników badań doświadczalnych wpływu podwyższonej temperatury na wytrzymałość przy ściskaniu drewna sosnowego impregnowanego środkiem ogniochronnym zawierającym nanocząstki SiO₂. Obecnie impregnaty tego typu są coraz częściej stosowane do zabezpieczenia elementów drewnianych.

Metody: Próbki sosnowe do badań wytrzymałościowych, o wymiarach 40×40×60mm, zostały podzielone na dwie grupy. Część próbek została poddana impregnacji środkiem ogniochronnym, wodną dyspersją nanocząstek SiO₂ o rozmiarach 10-20 nm. Próbki zanurzone w zawieszynie umieszczono w komorze próżniowej na czas 20 min, stosując podciśnienie rzędu (0,7 atm). Następnie próbki impregnowane i nieimpregnowane przetrzymywano przez 10 dni w temperaturze pokojowej. Mikroskopem SEM wykonano zdjęcia impregnowanych i nieimpregnowanych próbek. Przed przystąpieniem do badań wytrzymałościowych próbki zostały poddane obróbce termicznej. Podstawowym urządzeniem na stanowisku do wygrzewania próbek był średnotemperaturowy piec komorowy typu PK 1100/5. Regulowanie pracą pieca odbywało się przy użyciu sterownika programator PSP 1 wraz z komputerem pomiarowym i oprogramowaniem ThermoPro. Próbki były wygrzewane w piecu komorowym aż do osiągnięcia temperatury 250°C, przetrzymane w zaplanowanej temperaturze przez 10 lub 20 minut, a następnie schładzane do temperatury otoczenia. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z100, badania realizowano ze stałą prędkością przesuwu trawersy wynoszącą 2 mm/min.

Wyniki: Przedstawione wyniki badania są ściśle związane z bezpieczeństwem konstrukcji drewnianych poddanych oddziaływaniu podwyższonej temperatury, a także z możliwością stosowania nowoczesnych preparatów ogniochronnych zawierających nanocząstki. W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, że szybka dekohezja struktury drewna w warunkach oddziaływania podwyższonych temperatur następuje w zakresie od 220 do 250°C. Proces degradacji struktury drewna najszybciej postępuje w warstwie wierzchniej, przyczynia się do tego m.in. wysoka izolacyjność cieplna drewna. Wpływ impregnacji środkiem ogniochronnym na bazie krzemionki na wytrzymałość doraźną drewna przy ściskaniu jest jednoznaczny. Obserwowano wyższą wytrzymałość drewna nieimpregnowanego we wszystkich przedziałach temperatur.

¹ Szkoła Główna Służby Pożarniczej, 01-629 Warszawa ul. Słowackiego 52/54; pogrodnik@sgsp.edu.pl / The Main School of Fire Service, Warsaw, Poland;

² Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, 20-209 Lublin, ul. Projektowa 4; krzyzakaneta@gmail.com / University of Economics and Innovation in Lublin, Poland;

³ Autorzy wnieśli jednakowy wkład w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article.

Wnioski: Impregnacja wodną dyspersją cząstek SiO₂ w nieznacznym stopniu pogarsza wytrzymałość na ściskanie drewna. Podsumowując, należy stwierdzić, że impregnacja środkiem ogniochronnym na bazie SiO₂ pogarsza właściwości wytrzymałościowe w warunkach drewna pracującego na ściskanie. W badaniach nie wykazano korzystnego wpływu impregnacji na wytrzymałość drewna przy ścisnaniu po ekspozycji w podwyższonych temperaturach.

Słowa kluczowe: drewno sosnowe, wytrzymałość, impregnacja ogniochronna

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Abstract

Objective: The aim of the article was to present the results of a study on the influence of high temperatures on the compressive strength of pine timber treated with the flame retardant containing SiO₂ particles. Nowadays, this type of retardant is used more and more frequently for the purposes of wooden elements protection.

Methods: Samples for strength investigations with dimensions of 40x40x60 mm³ were divided into two groups. Some of the samples were impregnated with the use of the method of aqueous dispersion of SiO₂ nanoparticles in 10-20 nm range. Samples were immersed in the liquid and placed in a vacuum chamber for 20 min. at about 0.7 atm. Then, the impregnated and non-impregnated samples were stored for 10 days at room temperature. The impregnated and non-impregnated samples were photographed with the use of SEM microscope. Before the strength tests, the samples were heated. The main instrument of the heating test equipment used to heat the samples was an average-temperature chamber furnace – type PK 1100/5. The temperature in the furnace was controlled by PSP 1 programmer together with a measuring computer and ThermoPro software. The samples were heated up to 250°C and stored in such temperature for 10 or 20 minutes. Afterwards, the samples were cooled down to the room temperature. Strength tests have been conducted with the use of Zwick/Roell Z100 universal testing machine with crosshead speed of 2 mm/min.

Results: The research subject is closely related to the safety of wood constructions under high temperatures as well as the possibility of the usage of modern flame retardants containing nanoparticles. Based on the conducted studies, it may be said that the fast degradation of wood structure occurs in the temperature range from 220 °C to 250°C. Degradation process of wood is faster in the top layer than in lower layers due to e.g. high thermal insulation of wood. Timber treatment with silica-based fire retardants has a significant impact on compressive strength. In each temperature interval the strength of non-treated timber has been higher than in case of treated timber.

Conclusion: Treatment with the aqueous dispersion of SiO₂ particles influences on the decrease of compressive strength of timber. To sum up, it should be stated that treatment with silica-based flame retardants has negative influence on the strength of wood under compression. The presented studies do not show positive influence of flame retardant treatment on compressive strength of timber after high temperatures exposure.

Keywords: pine timber, strength, flame retardant

Type of article: original scientific article

Аннотация

Цель: Целью статьи было представление результатов экспериментальных исследований влияния повышенной температуры на устойчивость к сжатию древесины сосны, пропитанной огнезащитным средством, содержащим наночастицы SiO₂. В настоящее время пропитки такого типа всё чаще применяются для защиты деревянных элементов.

Методы: Образцы древесины сосны для испытаний устойчивости, размером 40x40x60 мм, были разделены на две группы. Часть образцов была обработана огнезащитной пропиткой, водной дисперсией наночастиц SiO₂ размером 10-20 нм. Погруженные в суспензию образцы поместили в вакуумную камеру на 20 минут при вакуумном давлении 0,7 атм. Далее, пропитанные и непропитанные образцы держали в течение 10 дней при комнатной температуре. Микроскопом SEM были сделаны фотографии пропитанных и непропитанных образцов. До начала испытаний на устойчивость, образцы подвергли термообработке. Основным устройством установки для нагревания образцов была среднетемпературная камерная печь типа РК 1100/5. Регулирование работы печи проходило при помощи драйвера программатора PSP 1 вместе с измерительным компьютером и программным обеспечением ThermoPro. Образцы нагревались в камерной печи до температуры 250°C, находились в установленной температуре 10 или 20 минут, и последовательно охлаждались до температуры окружающей среды. Исследования устойчивости провели с помощью универсальной испытательной машины Zwick/Roell Z100. Исследования были проведены с постоянной скоростью перемещения траверсы, составляющей 2мм/мин.

Результаты: Представленные результаты исследования тесно связаны с безопасностью деревянных конструкций, подверженных воздействию повышенной температуры, а также с возможностью использования современных огнезащитных препаратов, содержащих наночастицы. Из проведенных исследований следует, что быстрая декогезия структуры древесины в условиях воздействия повышенных температур наступает при температуре от 220°C до 250°C. Процесс деградации структуры древесины проходит быстрее в поверхностном слое, этому способствует, кроме всего прочего, высокая теплоизоляция древесины. Влияние пропитки огнезащитным веществом на основе диоксида кремния на временную устойчивость древесины при сжатии однозначно. Была замечена высокая устойчивость непропитанной древесины при всех диапазонах температур.

Выводы: Пропитка водной дисперсией содержащей частицы SiO₂ (диоксида кремния) в незначительной степени ухудшает устойчивость к сжатию древесины. Подводя итоги, следует отметить, что пропитка огнезащитным веществом на основе SiO₂ ухудшает прочностные свойства древесины, подвергаемой постоянному воздействию сжатия. Исследования не подтвердили положительного влияния пропитки на прочность древесины при сжатии после воздействия повышенных температур.

Ключевые слова: древесина сосны, устойчивость, огнезащитная пропитка

Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wstęp

Od tysięcy lat drewno wykorzystywane jest nie tylko jako materiał opałowy, ale również jako materiał konstrukcyjny. Drewno budowlane posiada korzystne właściwości fizyczne, mechaniczne oraz niewielki ciężar właściwy. Elementy konstrukcyjne wykonane z drewna lub materiałów drewnopochodnych charakteryzują się długim okresem użytkowania przy niewielkich nakładach na ich konserwację. Drewno posiada również szereg innych zalet, takich jak: łatwość obróbki, estetyczność oraz dobre właściwości dźwiękochłonne. Należy także dodać, że drewno jest materiałem odnawialnym, a co za tym idzie, może być również używane jako materiał w przyszłości, przy założeniu zrównoważonej gospodarki pomiędzy zużyciem a przyrostem drzewostanu. Podstawową wadą drewna jest mała odporność na podwyższoną i wysoką temperaturę występującą w czasie pożaru. Spalanie drewna powoduje tworzenie się warstwy zwęglonej, która wraz z czasem trwania pożaru staje się coraz grubsza. Warstwa zwęglona wpływa na zmniejszenie prędkości procesu spalania, jednak łatwo ulega uszkodzeniu lub spękaniu [1,3]. Drewno składa się głównie z celulozy, hemicelulozy i ligniny. Hemiceluloza zbudowana jest z rozgałęzionych polimerów amorficznych i wypełnia obszar pomiędzy celulozą a ligniną w strukturze drewna. Lignina jest polimerem amorficznym odpowiedzialnym za kohezję struktury drewna. Degradacja wysuszonej celulozy następuje w temperaturze około 300°C, jednakże degradacja hemicelulozy następuje już w zakresie temperatury od 150 do 200°C [5,6]. Jednocześnie dekompozycja ligniny, odpowiedzialnej za spoiwość struktury drewna, następuje w zakresie temperatury pomiędzy 220 a 250°C.

Aby zwiększyć odporność drewna na podwyższoną temperaturę stosowane są różne metody jego modyfikacji. Obecnie w wielu krajach prowadzone są badania dotyczące modyfikacji termicznej drewna, która korzystnie wpływa na poprawę wytrzymałości, stabilność oraz ochronę drewna przed czynnikami biotycznymi. Pod względem ochrony drewna przed wysoką temperaturą najczęściej stosowane są impregnaty ogniochronne. Ze względu na sposób stosowania impregnaty możemy podzielić na dwie grupy [2]:

- Wnikające w drewno, do których najczęściej zaliczamy środki solne. Impregnaty ogniochronne tego typu w postaci stężonych roztworów wodnych stosowane są do głębokiego nasycania elementu drewnianego metodą próżniową lub próżniowo-ciśnieniową. Do grupy tej należą środki posiadające w swoim składzie związki fosforu, boru, magnezu, amonu, azotu i moczniaka.
- Działające powierzchniowo w postaci farb, lakierów, roztworów wodnych oraz cienkich płyt. Środki te tworzą na powierzchni drewna warstwę ochronną [6, 7].

Środki powłokowe stosowane są w miejscach, w których nie jest wymagane zachowanie naturalnego koloru i słoju drewna. Należy podkreślić, że obecnie budownictwo drewniane przeżywa swój renesans. Jest to związane z niewątpliwymi zaletami drewna, jak również z nowoczesnymi metodami zabezpieczeń przed działaniem

czynników niszczących. Celem badań było określenie wpływu podwyższonej temperatury na wytrzymałość przy ściskaniu wzdłuż włókien drewna sosnowego impregnowanego środkiem ogniochronnym, wodną dyspersją nanocząstek SiO₂.

2. Materiał i metodyka wykonania badań

2.1. Próbkki do wykonania badań

Próbki do badań wytrzymałościowych, o wymiarach 40×40×60mm, zostały wykonane z drewna sosnowego wolnego od wad. Wszystkie próbki wykonano z materiału głównego, jednego bala sosnowego, sezonowanego przez cztery lata. Następnie wybrana tarcica została pocięta na listwy i poddana suszeniu w suszarni komorowej przez 14 dni. Przed przystąpieniem do obróbki termicznej oraz impregnacji próbki były przechowywane przez sześć miesięcy w suchym pomieszczeniu, a ich wilgotność nie przekraczała 10%. Wybrane losowo próbki zostały poddane impregnacji próżniowej w suszarce SPU-200.

Próbki zostały poddane impregnacji wodną dyspersją nanocząstek krzemionki. Do wykonania impregnatu wykorzystano mieszalnik elektromagnetyczny. Stężenie środka ogniochronnego wynosiło 400 ppm. Do głębokiego pojemnika przelano impregnat w ilości zapewniającej całkowite zanurzenie próbek. Następnie próbki umieszczono w komorze suszarki próżniowej. Impregnację przeprowadzono metodą próżniową przez 20 min, stosując podciśnienie rzędu -70927,5 Pa (0,7 atm). Po przeprowadzeniu impregnacji próbki zostały wyjęte i wysuszone w temperaturze otoczenia.

Tabela 1.

Szczegółowe właściwości fizyczne i chemiczne SiO₂

Table 1.

Detailed physical and chemical properties of SiO₂

Właściwości impregnatu (Properties)	Opis/wartość (Description / value)
Wygląd (Appearance)	biały proszek (white powder)
Zapach (Odour)	Brak (odourless)
Wielkość cząstek (Size of particles)	10-20 nm
Początkowa temperatura topnienia (Melting point)	1600°C
Początkowa temperatura wrzenia (Boiling point)	2300°C
Gęstość objętościowa (Density)	0,011 g/ml

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

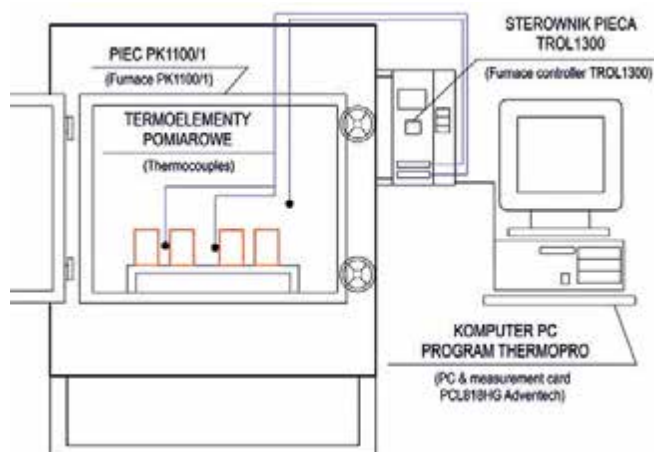
2.2. Obróbka termiczna próbek

Przed rozpoczęciem badań wytrzymałości przeprowadzono obróbkę termiczną próbek. Wykonano badania wstępne, w których ustalono zakres temperatury eksperymentu oraz określono minimalny czas ekspozycji próbek na działanie podwyższonej temperatury. Określenie czasu wygrzewania materiału umożliwiło uzyskanie równomiernej wartości temperatury w całej objętości próbki. W celu wyznaczenia wartości temperatury we-

wnątrz materiału, wywiercono w próbce otwór, w którym umieszczono termoparę. W ten sposób wykonano pomiary temperatury w geometrycznym środku próbki. Minimalny czas nagrzewania próbki określono jako czas, po którym termopara umieszczona wewnątrz próbki pozwoliła na zmierzenie wartości temperatury przyjętej w planie badań. Jako wyjściową do badań wstępnych przyjęto temperaturę otoczenia równą 20°C. Temperaturę graniczną określono na poziomie 250°C, która jest bliska temperaturze zapłonu powierzchni drewna.

Podstawowym urządzeniem na stanowisku do wygrzewania próbek był średnotemperaturowy piec komorowy typu PK 1100/5 (rys. 1). Regulowanie pracą pieca odbywało się przy użyciu sterownika Programator PSP 1 wraz z komputerem pomiarowym i oprogramowaniem ThermoPro.

Po umieszczeniu próbek w komorze pieca, rozmieszczono termoelementy pomiarowe. Umożliwiły one pomiar temperatury w piecu i na dwóch zewnętrznych powierzchniach losowo wybranych próbek. W czasie badań mierzono również temperaturę w otoczeniu próbek – w środowisku pieca. Za podstawę w badaniach została przyjęta krzywa normowa „temperatura-czas”.

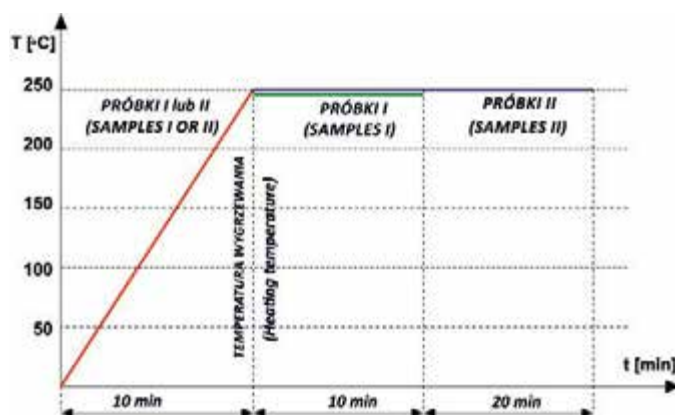


Ryc. 1. Schemat stanowiska do wygrzewania próbek
Fig. 1. The scheme of the test stand for heating samples

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Wygrzewanie próbek zostało podzielone na dwie fazy. W fazie pierwszej, trwającej 10 minut, próbki były ogrzewane do temperatury 250°C. W fazie drugiej – połowa próbek była wygrzewana w ustalonej wartości temperatury przez 10 minut. Czas ten był czasem minimalnym, który był potrzebny do uzyskania temperatury 250°C w całej objętości próbki. Druga część próbek, w fazie drugiej, była wygrzewana w temperaturze 250°C przez 20 minut. Schemat wygrzewania obydwu grup próbek został przedstawiony na (ryc. 2).

Po okresie wygrzewania, w obydwu przypadkach, próbki były wyjmowane z pieca i studzone w sposób naturalny do temperatury otoczenia.



Ryc. 2. Schemat wygrzewania próbek
Fig. 2. The scheme of heating samples

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

3. Badanie wytrzymałości na ściskanie

Badanie wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z100, badania realizowano ze stałą prędkością przesuwu trawersy wynoszącą 2 mm/min.

Wytrzymałość na ściskanie obliczono na podstawie równania (1):

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

gdzie:

P_{\max} – najwyższa wartość siły uzyskana w próbce [N]

A – przekrój próbki [mm²]

Pracę ściskania określono z następującego równania (2):

$$W = \int_0^y P_{\max} dy \quad [\text{Nmm}] \quad (2)$$

gdzie:

P_{\max} – najwyższa wartość siły uzyskana w próbce [N]

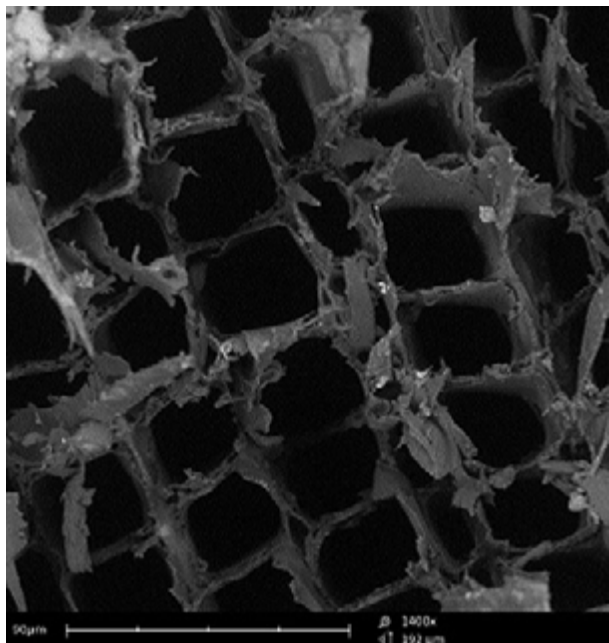
y – odkształcenie próbki [mm]

4. Wyniki badań

Na rycinach 3 i 4 przedstawiono obrazy z mikroskopu skaningowego powierzchni drewna sosny nieimpregnowanej i impregnowanej po ekspozycji w podwyższonej temperaturze. Na rycinie 4 widoczne jest częściowe domknięcie porów drewna przez impregnat. Działanie uszczelniające jest korzystne, ponieważ ogranicza emisję gazów palnych ze struktury drewna.

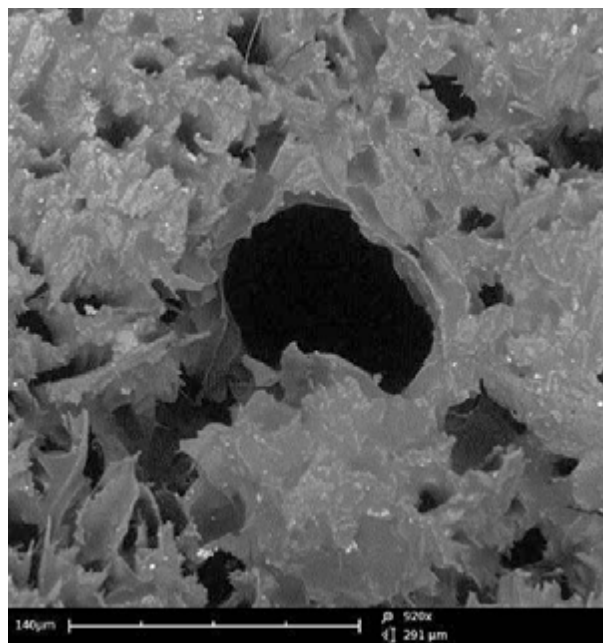
W tabelach 2 i 3 przedstawiono statystyki opisowe wyników badań wytrzymałości na ściskanie i pracy ściskania. Dla odpowiednich wartości temperatury i czasu

ekspozycji przedstawiono wartość średnią, odchylenie standardowe i współczynnik zmienności.



Ryc. 3. Obraz z mikroskopu SEM płaszczyzny normalnej do kierunku działania siły drewna niepoddanego impregnacji
Fig. 3. The SEM micrograph of a plane normal to the direction of force application of non-treated timber

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 4. Obraz SEM płaszczyzny normalnej do kierunku działania siły drewna poddanego impregnacji
Fig. 4. The SEM micrograph of a plane normal to the direction of force application of treated timber

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Tabela 2.

Statystyki opisowe wyników badań wytrzymałości na ściskanie

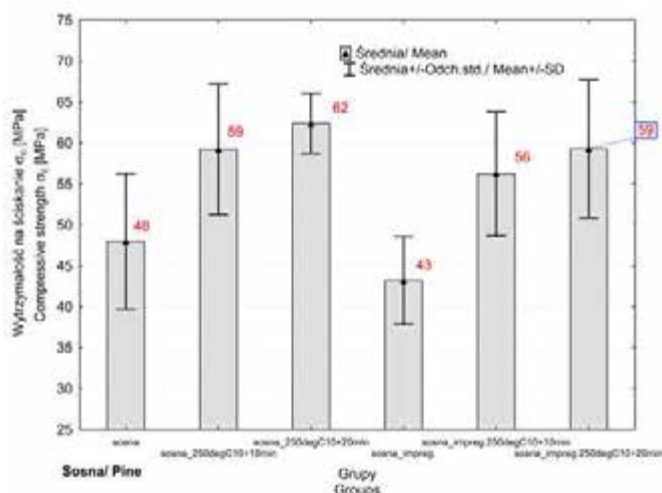
Table 2.

Descriptive statistics of the compressive strength results

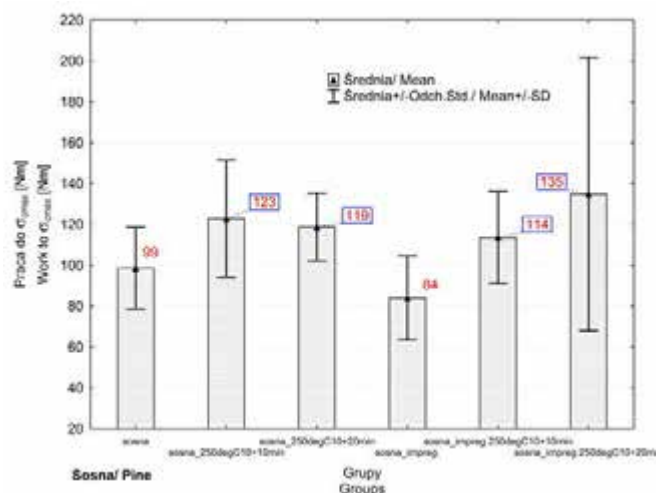
Material (Material)	Temperatura [°C] (Temperature [°C])	Czas ekspozycji [min] (Exposure time [min])	N	Średnia [MPa] (Mean [MPa])	Odchylenie standardowe [MPa] (Standard deviation [MPa])	Współczynnik zmienności [%] (Coefficient of variation k [%])
Sosna/(Pine)	20	-	15	47,99	8,27	17,24
Sosna/(Pine)	250	10+10	15	59,22	7,96	13,45
Sosna/(Pine)	250	10+20	15	62,41	3,66	5,87
sosna impregnowana SiO ₂ (Pine treated with SiO ₂)	20	-	15	43,22	5,34	12,36
sosna impregnowana SiO ₂ Pine treated with SiO ₂	250	10+10	15	56,24	7,58	13,47
sosna impregnowana SiO ₂ Pine treated with SiO ₂	250	10+20	15	59,29	8,42	14,21

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Na rycinach 5 i 6 przedstawiono wykresy ramkowe wyników badań wytrzymałości na ściskanie i pracy ściskania.



Ryc. 5. Wykres ramkowy wyników wytrzymałości na ściskanie
 Fig. 5. The graph of the average compressive strength results
 Źródło: Opracowanie własne.
 Source: Own elaboration.



Ryc. 6. Wykres ramkowy pracy odkształcenia do maksymalnej siły
 Fig. 6. The graph of the average strain work to the maximum force

Źródło: Opracowanie własne.
 Source: Own elaboration.

Dla celów porównawczych na rycinach 7 i 8 przedstawiono rozkład i interpolację wartości wytrzymałości na ściskanie i pracy ściskania w ujęciu procentowym. Jako wartość odniesienia ustalono wyniki uzyskane dla próbek nieimpregnowanych i niepoddanych obróbce termicznej.

Tabela 3.

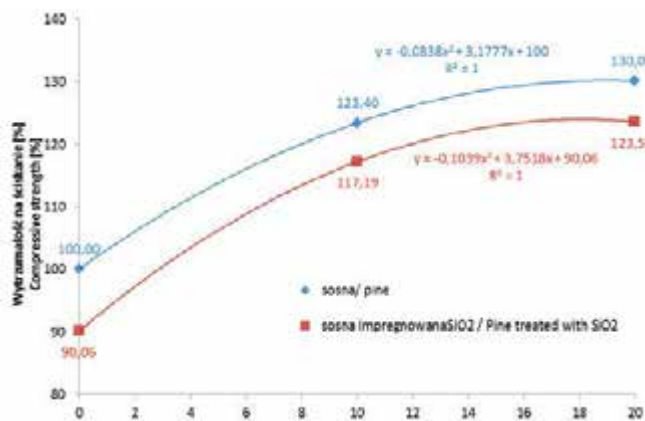
Statystyki opisowe wyników pracy ściskania próbek drewnianych

Table 3.

Descriptive statistics of the compression work of the wooden samples

Material (Material)	Temperatura [°C] (Temperature [°C])	Czas ekspozycji [min] (Exposure time [min])	N	Średnia [Nm] (Mean [Nm])	Odchylenie standardowe [Nm] (Standard deviation [Nm])	Współczynnik zmienności [%] (Coefficient of variation k [%])
Sosna/(Pine)	20	-	15	98,69	20,01	20,28
Sosna/(Pine)	250	10+10	15	122,84	28,61	23,29
Sosna/(Pine)	250	10+20	15	118,80	16,58	13,95
sosna impregnowana SiO ₂ (Pine treated with SiO ₂)	20	-	15	84,02	20,51	24,41
sosna impregnowana SiO ₂ Pine treated with SiO ₂	250	10+10	15	113,58	22,57	19,87
sosna impregnowana SiO ₂ Pine treated with SiO ₂	250	10+20	15	134,87	66,91	49,62

Źródło: Opracowanie własne.
 Source: Own elaboration.

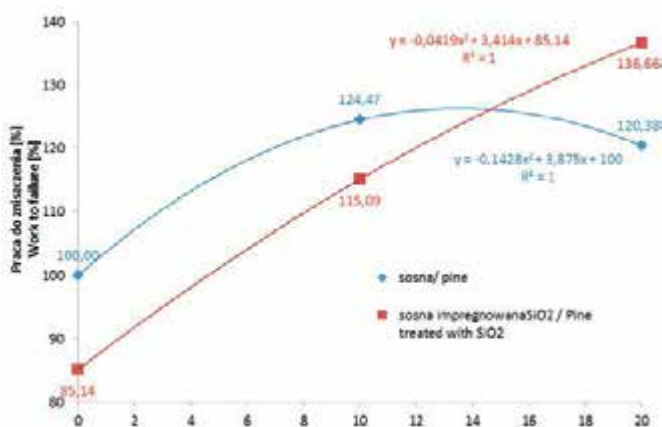


Ryc. 7. Zmiana wytrzymałości na ściskanie w ujęciu procentowym

Fig. 7. Percentage changes in the compressive strength

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Ryc. 8. Zmiana pracy ściskania w ujęciu procentowym

Fig. 8. Percentage changes in the compression work

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

5. Podsumowanie

Struktura drewna, zwłaszcza litego, jest mało odporna na działanie wysokich temperatur. Jest to jedna z podstawowych wad drewna. Szybka dekohezja struktury drewna w warunkach oddziaływania podwyższonych temperatur następuje w zakresie od 220°C do 250°C. Pierwsze osłabienie struktury powodowane jest szybkim i niekontrolowanym obniżeniem wilgotności. Jednym ze skutków może być spadek wytrzymałości w wyniku dekohezji oraz postępująca redukcja przekroju poprzecznego związana ze zwiększającą się grubością warstwy węglonej.

Innym niebezpiecznym skutkiem działania podwyższonych temperatur jest intensywna emisja gazów, zapoczątkowana reakcjami egzotermicznymi zachodzącymi w strukturze drewna, gazy powodują m.in. rozpraszanie cząstek koloidalnych, tworząc dym.

Ponadto obróbka termiczna prowadzi do uzyskania ciemnej barwy przez element poddany ekspozycji termicznej. Powoduje to zmniejszenie kontrastu elementu w zadymionej strefie i utrudnia orientację ratownikom prowadzącym akcję ratowniczo-gaśniczą.

Proces degradacji struktury drewna najszybciej postępuje w warstwie wierzchniej, przyczynia się do tego

m.in. wysoka izolacyjność cieplna drewna. Pozytywnym skutkiem tego procesu jest powstanie warstwy zwęglonej, która w kolejnych etapach stanowi dodatkową warstwę izolacyjną ograniczającą dopływ ciepła do rdzenia elementu konstrukcyjnego. Jednym z celów ogniochronnej impregnacji drewna jest intensyfikacja tego procesu. Ponadto dzięki zastosowaniu preparatów ogniochronnych uzyskuje się m.in. znaczące podwyższenie temperatury zapłonu drewna.

Wpływ impregnacji środkiem ogniochronnym zawierającym krzemionkę na wytrzymałość doraźną drewna na ściskanie jest jednoznaczny. Obserwowano wyższą wytrzymałość drewna nieimpregnowanego we wszystkich przedziałach temperatur. Środek na bazie cząstek SiO₂ w nieznacznym stopniu pogarsza wytrzymałość na ściskanie drewna. Ze wzrostem temperatury i czasu ekspozycji wytrzymałość na ściskanie drewna impregnowanego i nieimpregnowanego poprawia się. Wzrost wytrzymałości jest prawdopodobnie powodowany przyjętym w badaniu przebiegiem procesu obróbki termicznej, zakres temperatur procesu mieścił się w zakresie podwyższonych temperatur niepowodujących zapłonu drewna. Wpływ może mieć również założony kształt krzywej rozkładu „temperatura-czas”. Technologiczny kontrolowany proces termicznej modyfikacji drewna następuje zazwyczaj w zakresie temperatur od 160 do 280°C [8], a czas ekspozycji drewna zależy m.in. od wielkości elementów poddawanych modyfikacji termicznej oraz ich wilgotności i wynosi od 15 minut do 24 godzin. Kontrolowana modyfikacja struktury drewna wpływa na poprawę jego niektórych właściwości fizyko-mechanicznych, głównie twardości i odporności na ścieranie [9], ma wpływ na poprawę stabilności wymiarowej elementów drewnianych, odporność biologiczną drewna oraz zmniejszenie poziomu pochłanianej przez drewno wilgoci [10, 11]. Poprawa właściwości następuje w wyniku zmian składu chemicznego drewna, głównie w wyniku degradacji hemicelulozy [4, 12]. Proces ten wpływa również na poprawę odporności na agresywne oddziaływania środowiska, zwiększenie odporności na korozję biologiczną drewna oraz, co jest istotne ze względów estetycznych, pozwala uzyskać ciemny dekoracyjny kolor [13].

Połączenie procesu termicznego oddziaływania i impregnacji wpłynęło korzystnie na zdolność do odkształcenia pod obciążeniem i czas potrzebny do zniszczenia próbki, jednakże energia potrzebna do zniszczenia była wyższa dla próbek nieimpregnowanych. Wydłużenie czasu obróbki termicznej spowodowało spadek pracy ściskania dla próbek nieimpregnowanych – może być to związane ze wzrostem kruchości drewna.

Impregnacja ogniochronnym roztworem SiO₂ pogarsza własności wytrzymałościowe w warunkach drewna pracującego na ściskanie wzdłuż włókien. Nie wykazano korzystnego wpływu impregnacji na wytrzymałość przy ściskaniu drewna po ekspozycji w podwyższonych temperaturach.

Literatura

1. Gunduz G., Aydemir D., Karakas G., *The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (Pyrus elaeagnifolia Pall.) wood and changes in physical properties*, "Materials and Design" Vol. 30, 2009, pp. 4391-4395.
2. Korkut S., Akgul M., Dundar T., *The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (Pinus sylvestris L.) wood*, "Bioresource Technology" Vol. 99, 2008, pp. 1861-1868.
3. Bednarek Z., Kaliszuk-Wietecha A., *Analysis of the fire-protection impregnation influence on wood strength*, "Journal of Civil Engineering and Management" Vol. 13 Issue 2, 2007, pp. 79-85.
4. Bednarek Z., Ogrodnik P., Pieniak D., *Wytrzymałość na zgięcie i niezawodność kompozytu drewnianego LVL w warunkach podwyższonych temperatur*, „Zeszyty Naukowe SGSP”, Issue 40, 2010.
5. Oszust M., Pieniak D., Ogrodnik P., Dec L., *Badanie spadku wytrzymałości drewna świerkowego modyfikowanego termicznie w warunkach temperatur pożarowych*, „Drewno” Vol. 54, 2011, pp. 97-108.
6. Pieniak D., Ogrodnik P., Oszust M., Niewczas A., *Badania wytrzymałości w podwyższonych temperaturach materiałów drewnopochodnych stosowanych w mostownictwie*, Rozdział w monografii wydanej przez Politechnikę Lubelską 2012, 88-116.
7. Nagrodzka M., Małozieć D., *Impregnacja drewna środkami ogniochronnymi*. BiTP Vol. 23 Issue 3, 2011, pp. 68-76
8. Fengel D., Wegener G., *Wood chemistry, ultrastructure, reactions*, Berlin, Walter de Gruyter, 1989.
9. Mazela B., Zakrzewski R., Grześkowiak W., Cofta G., Bartkowiak M., *Resistance of thermally modified wood to basidiomycetes*, „Wood Technology” Vol. 7, 2004, pp. 253-262.
10. Kartal S.N., Hwang W.J., Imamura Y., *Combined effect of boron compounds and heat treatments on wood properties: Chemical and strength properties of wood*, "Journal of Materials Processing Technology" Vol. 198, 2008, pp. 234-240.
11. Obataya E, Tanaka F, Norimoto M, Tomita B., *Hygroscopicity of heat-treated wood 1. Effects of after-treatments on the hygroscopicity of heat-treated wood*, "Journal of Wood Science" Vol. 46, 2000, pp. 77-87.
12. Gunduz G., Aydemir D., Karakas G., *The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (Pyrus elaeagnifolia Pall.) wood and changes in physical properties*, "Materials and Design" Vol. 30, 2009, pp. 4391-4395.
13. Korkut S., Akgul M., Dundar T., *The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (Pinus sylvestris L.) wood*, "Bioresource Technology" Vol. 99, 2008, pp. 1861-1868.

st. kpt. dr inż. Paweł Ogrodnik – absolwent Wydziału Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej Politechniki Lubelskiej (kierunek: budownictwo). W 2001 roku rozpoczął pracę w Zakładzie Mechaniki Stosowanej Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. W 2006 roku obronił rozprawę doktorską na temat „Wpływ temperatur występujących w czasie pożaru na przyczepność pomiędzy stalą a betonem”.

dr inż. Daniel Pieniak – absolwent wydziału mechanicznego Politechniki Lubelskiej, w tej samej jednostce w 2010 roku uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie naukowej budowa i eksploatacja maszyn. Od 2006 roku jest pracownikiem Zakładu Mechaniki Stosowanej Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Prowadzi badania eksploatacyjne, wytrzymałości i mechanizmów uszkodzeń materiałów konstrukcyjnych i funkcjonalnych oraz komponentów sprzętu pożarniczego i ochron osobistych w warunkach narażeń termicznych i mechanicznych.

mł. kpt. mgr inż. Agata Walczak – absolwentka wydziału inżynierii bezpieczeństwa pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Od 2011 roku pracuje na stanowisku asystenta w Zakładzie Mechaniki Stosowanej w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie.

dr inż. Aneta Krzyżak – ukończyła studia magisterskie na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej na kierunku mechanika i budowa maszyn. Od początku swojej pracy zawodowej pracuje w Katedrze Procesów Polimerowych. Jest członkiem zwyczajnym Komisji II Podstaw i Zastosowań Fizyki i Chemii w Technice, Rolnictwie i Medycynie Polskiej Akademii Nauk Oddział w Lublinie. Od 21 kwietnia 2009 r., Stowarzyszenia Inżynierów i Mechaników Polskich od 2004 r., Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego PNTTE od 2007 r., członkiem Zarządu i Prezydium Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego PNTTE od 14.10.2010 r., członkiem Zespołu Kwalifikacji Ekspertów Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa na kadencję 2011 – 2013, członkiem oraz sekretarzem naukowym Zespołu Systemu Eksploatacji w Sekcji Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk PAN na kadencję 2007-2010, sekretarzem Komitetu Redakcyjnego Serii Monografii Zespołu Systemów Eksploatacji SPE KBM PAN od 2010 r.