

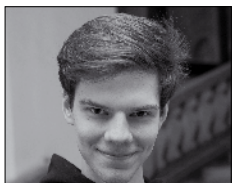
# Doświadczalna analiza wpływu wilgotności na parametry mechaniczne drewna iglastego



inż.  
**DOMINIKA HABYK**  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii Lądowej  
i Środowiska  
ORCID: 0009-0006-5491-7107



inż.  
**MARLENA GOZDZIEWSKA**  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii Lądowej  
i Środowiska  
ORCID: 0009-0007-4678-1403



inż.  
**JANUSZ KIELBRATOWSKI**  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii Lądowej  
i Środowiska  
ORCID: 0009-0003-3210-260X



inż.  
**KRZYSZTOF RYNCEWICZ**  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii Lądowej  
i Środowiska  
ORCID: 0009-0002-0422-1110

W artykule przedstawiono wyniki badań, których celem była ocena wpływu wilgotności wybranych gatunków drewna iglastego na wytrzymałość na zginanie oraz ściskanie wzdłuż i w poprzek włókien, a także wpływ na moduł sprężystości podłużnej przy zginaniu. W każdej próbie przebadano po 12 próbek w stanie suchym oraz po 12 próbek po zawilgoceniu dla drewna sosnowego i świerkowego.

**W**ilgotność ma znaczący wpływ na właściwości drewna. Na ten parametr wpływają dwie charakterystyczne cechy, jakimi są higroskopijność oraz nasiąkliwość. Wchłanianie wody ma związek z porowatością drewna, która z kolei zależy od jego gęstości. Co za tym idzie, drewno o dużej gęstości wolniej wchłania ciecz, w której jest zanurzone, ze względu na mniejszą ilość porów od drewna o małej gęstości. Jest to istotne, ponieważ drewno o bardzo dużej wilgotności jest podatne na rozwój mikroorganizmów, ale co ważniejsze, dochodzi do zmian parametrów mechanicznych materiału. Może to prowadzić do różnego rodzaju uszkodzeń [1].

Dodatkowo drewno jako materiał anizotropowy charakteryzuje się zróżnicowanymi wartościami parametrów mechanicznych w zależności od rozpatrywanego kierunku. Zależność ta wynika z włóknistej struktury wewnętrznej drewna. W przypadku ściskania w kierunku równoległym do układu włókien uzyska się większą wytrzymałość aniżeli w przypadku rozciągania w kierunku prostopadłym [2]. Ponadto ze względu na okrągły kształt pnia drzewa należy rozróżnić trzy kierunki: wzdłuż włókien, w kierunku stycznym i w kierunku promieniowym. Jednakże uwzględnienie trzech różnych kierunków w obliczeniach projektowych jest czasochłonne, w związku z tym upraszcza się analizę do kierunku wzdłuż i w poprzek włókien [2].

Wytrzymałość drewna na ściskanie wzdłuż i w poprzek włókien zależy między innymi od gatunku drewna, co jest bezpośrednio

związane z jego budową mikroskopową. Średnie wytrzymałości drewna na ściskanie wzdłuż i w poprzek włókien w zależności od gatunku zestawiono w tab. 1. Stosunek wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien do ściskania w poprzek włókien wynosi 4,7 dla sosny oraz 4,3 dla świerku.

W ujęciu normowym [5] (tab. 2.) ta zależność również została zachowana. W tym przypadku stosunek wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien do ściskania w poprzek włókien wynosi ok. 8.

W przypadku zginania jednym z ważniejszych aspektów jest rozkład naprężeń normalnych, stąd też można uznać, że wytrzymałość na zginanie zależy od tych samych parametrów co wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie. Wartości naprężeń zmieniają się liniowo na wysokości belki, natomiast największe wartości można zaobserwować na skraju przekroju [1]. Wraz z powolnym wzrostem obciążenia bez zmiany kierunku występuje w drewnie zginanie statyczne, które z reguły następuje w strefie rozciąganej przekroju (skrajne dolne włókna badanego elementu). Jest to dość niezwykłe zjawisko, ponieważ pomimo wysokiej wytrzymałości drewna na rozciąganie w porównaniu ze ścisaniem dochodzi do przesunięcia się osi obojętnej w stronę naprężeń rozciągających wskutek występowania zbyt dużych sił ściskających w strefie ściskanej. Zwiększanie wartości obciążenia powoduje pogłębienie sfałdowania płaszczyzny ściskanej oraz rozrwanie płaszczyzny rozciąganej aż do chwili załamania. Otrzymany charakter przełomu jest wskaźnikiem jakości danej próbki [1], [3].



## Drewno jako materiał anizotropowy charakteryzuje się zróżnicowanymi wartościami parametrów mechanicznych w zależności od rozpatrywanego kierunku.

### Przebieg badań

Każde badanie polegało na zbadaniu wytrzymałości 12 próbek drewna sosnowego i 12 próbek drewna świerkowego. Do badań wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien wykorzystano próbki o wymiarach: 40 x 40 x 240 mm; w poprzek włókien: 45 x 70 x 90 mm; a do badań wytrzymałości na zginanie próbki o wymiarach: 20 x 40 x 400 mm. Wymiary próbek wybrano spośród aktualnie dostępnych w tartaku. Przed badaniem zmierzono wymiary, masę oraz wilgotność próbek. Pomiaru wilgotności próbek dokonano za pomocą niszczącej metody elektrometrycznej, opierającej swoje działanie na zmiennych właściwościach elektrycznych drewna przy zmianie jego wilgotności [6]. W przeprowadzonych badaniach zawilgocenie próbek uzyskano poprzez całkowite ich zanurzenie w wodzie na 24 godziny przed wykonaniem badań. Dla każdego badania ustawiano dobrane wcześniej parametry, np. siła wstępna w przypadku badań wytrzymałości na ściskanie wynosiła 1 kN, a w przypadku badań wytrzymałości na zginanie 0,1 kN. Próby osiowego ściskania wzdłuż włókien oraz osiowego ściskania w poprzek włókien wykonano poprzez umieszczenie próbki pomiędzy płytami tłoków maszyny. Próbę zginania wykonano metodą trójpunktową zgodnie ze schematem statycznym przedstawionym na rys. 1. Stanowisko pomiarowe przedstawiono na fot. 1. Badania były wykonywane na maszynie wytrzymałościowej Zwick Roell Z400.

### Wytrzymałość drewna na ściskanie wzdłuż i w poprzek włókien

Wyniki uzyskane w toku przeprowadzonych badań zestawiono w tab. 3. dla próby ściskania wzdłuż włókien oraz w tab. 4. dla próby ściskania w poprzek włókien. Ze względu na dużą powtarzalność wyników zależności siła – przemieszczenie przedstawiono zbiorczo dla próbek suchych i poddanych zawilgoceniu przykładowo dla drewna świerkowego na wykresach 1. i 2.

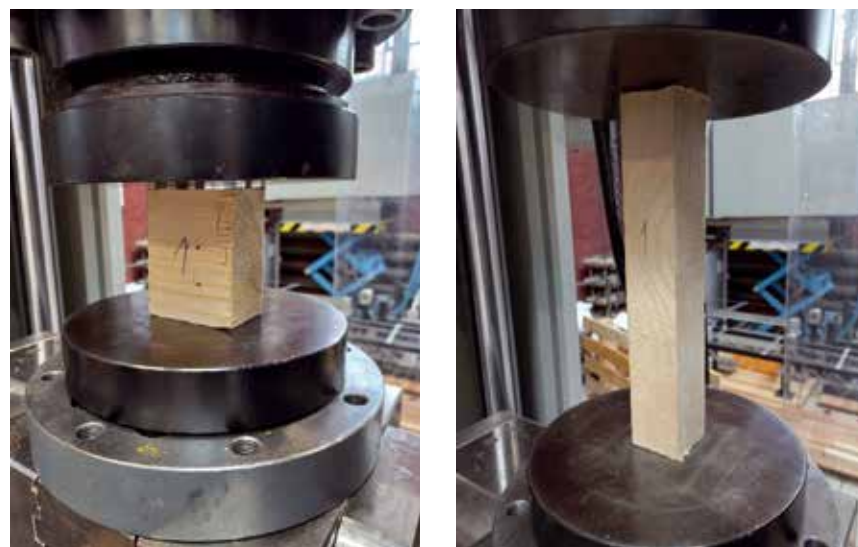
Z analizy próbek suchych i mokrych poddanych ściskaniu wzdłuż włókien wynika, że średnia wytrzymałość dla obu rodzajów drewna spadła o około 50%.

Tab. 1. Właściwości mechaniczne wybranych gatunków drewna o wilgotności 15%; źródło: [4]

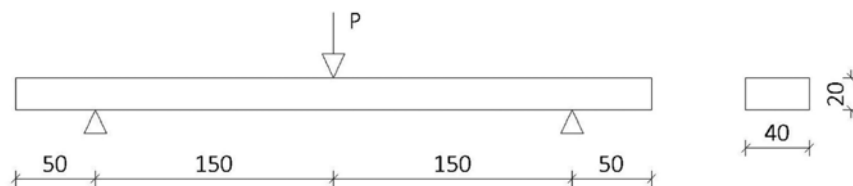
Gatunek Drewna	Wytrzymałość, MPa	
	Ściskanie wzdłuż włókien	Ściskanie w poprzek włókien
Sosna	47,0	10,0
Świerk	43,0	6,7

Tab. 2. Właściwości mechaniczne dla wybranych klas wytrzymałościowych drzewa iglastego; źródło: [5]

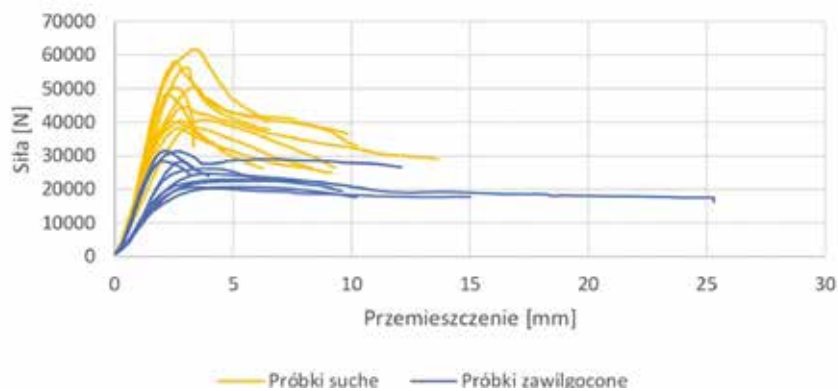
Klasa drewna	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Ściskanie wzdłuż włókien $f_{c,0,k}$ , MPa	16	17	18	19	20	21	22	24	25	27	29	30
Ściskanie w poprzek włókien $f_{c,90,k}$ , MPa	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	3



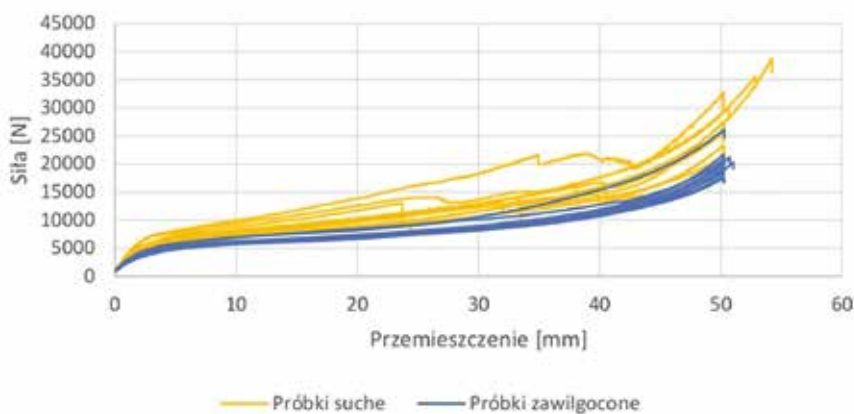
Fot. 1. Stanowisko badawcze: a) dla ściskania w poprzek włókien, b) dla ściskania wzdłuż włókien, c) dla zginania; źródło: opracowanie własne



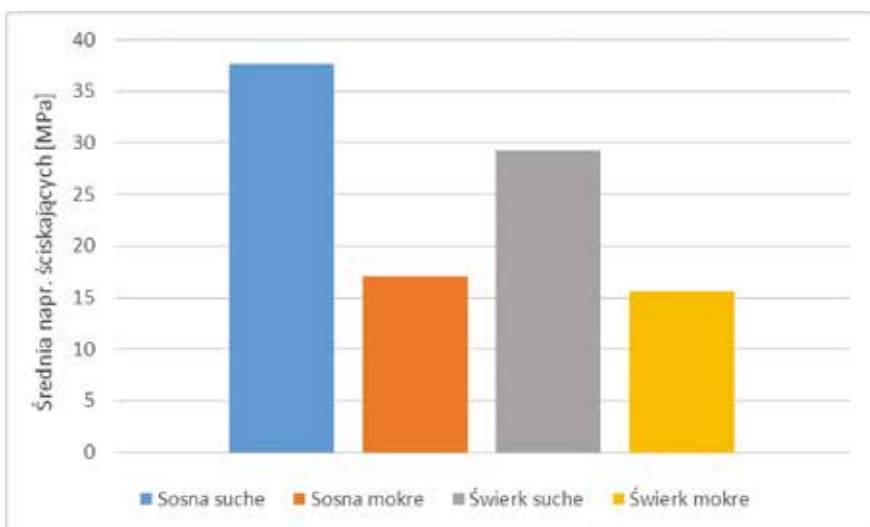
Rys. 1. Schemat statyczny dla próby zginania; źródło: opracowanie własne



Wykres 1. Ściskanie w poprzek włókien drewna świerkowego; źródło: opracowanie własne



Wykres 2. Ściskanie wzdłuż włókien drewna świerkowego; źródło: opracowanie własne



Wykres 3. Porównanie wartości średnich naprężeń ściskających dla ściskania wzdłuż włókien; źródło: opracowanie własne

W przypadku próbek poddanych ścisnaniu w poprzek włókien uzyskane zostały wyniki odwrotne od zamierzonych. Dla próbek sosnowych nastąpił wzrost wytrzymałości o 166,8%, jednakże dla próbek świerkowych uzyskano znany literaturowo spadek wynoszący 20,3%.

Rozbieżność wyników dla obu typów drewna wynika z procentowej wilgotności oscylowała w okolicach 6,5%, gdy dla świerkowych około 14%. Po tym badaniu można stwierdzić, że bardzo niska wilgotność sprzyja powstawaniu kruchości pęknięcia.

Tab. 3. Wyniki dla próby ściskania wzdłuż włókien; źródło: opracowanie własne

ŚCISKANIE WZDŁUŻ WŁÓKIEŃ			
SOSNA – PRÓBKİ SUCHE		SOSNA – PRÓBKİ MOKRE	
Wilgotność [%]	Naprężenia ściskające [MPa]	Wilgotność [%]	Naprężenia ściskające [MPa]
7,7	46,05	43,9	14,63
6,3	33,21	40,7	17,99
6,5	35,53	34,1	18,55
6,0	24,51	37,8	15,76
6,8	28,17	30,7	17,55
6,0	36,47	57,0	18,59
8,3	50,36	40,3	20,45
6,7	42,91	60,0	18,00
6,0	35,59	39,5	17,34
6,9	38,96	60,0	13,71
7,1	33,01	60,0	19,19
8,0	46,89	56,2	13,69
Średnia:	37,64	Średnia:	17,12
ŚWIERK – PRÓBKİ SUCHE		ŚWIERK – PRÓBKİ MOKRE	
Wilgotność [%]	Naprężenia ściskające [MPa]	Wilgotność [%]	Naprężenia ściskające [MPa]
13,5:	30,60	43,2	18,61
11,1	32,90	45,2	12,99
13,4	21,58	43,8	12,31
10,2	27,41	43,7	15,63
12,8	22,91	37,6	16,31
12,0	25,64	35,3	17,28
12,0	40,06	42,5	15,90
9,3	33,96	39,3	19,27
12,2	25,27	36,1	14,88
10,7	35,36	39,2	13,93
12,0	31,15	44,9	12,05
12,5	24,43	42,0	18,59
Średnia:	29,27	Średnia:	15,65

### Wytrzymałość drewna na zginanie oraz wyznaczenie modułu Younga

Wyniki uzyskane w toku przeprowadzonych badań zestawiono w tab. 5. dla próby zginania. Ze względu na dużą powtarzalność wyników zależności siła – przemieszczenie w środku rozpiętości przedstawiono zbiorczo dla próbek suchych i poddanych zawilżeniu dla drewna świerkowego na wykresie 5.

Próbki z drewna sosnowego, będące w stanie suchym, były w stanie przenieść znacznie większe wartości sił. Z kolei belki sosnowe mokre osiągały większe przemieszczenia od próbek suchych. Analogicznie zachowały się próbki wykonane z drewna świerku, lecz na mniejszą skalę.



**Tab. 4. Wyniki dla próby ściskania w poprzek włókien; źródło: opracowanie własne**

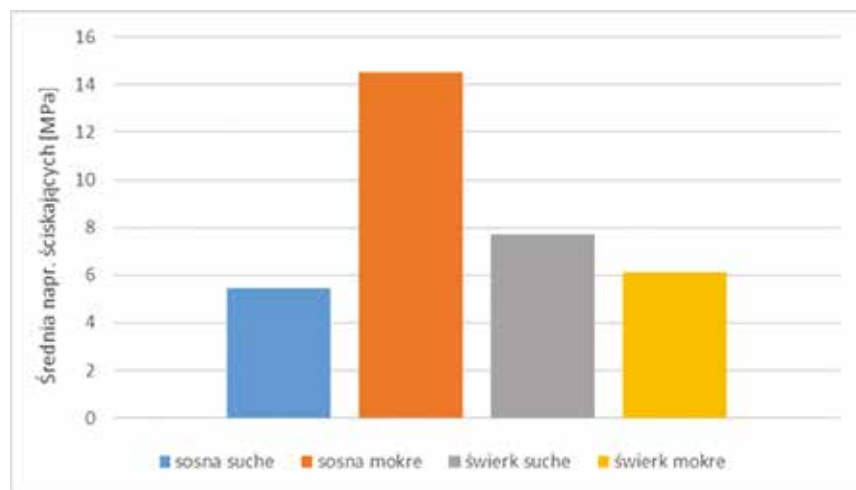
ŚCISKANIE W POPRZEK WŁÓKIEŃ			
SOSNA – PRÓBKİ SUCHE		SOSNA – PRÓBKİ MOKRE	
Wilgotność [%]	Naprężenia ściskające [Mpa]	Wilgotność [%]	Naprężenia ściskające [Mpa]
6,5	5,37	47,0	11,86
6,2	8,20	30,8	12,38
7,1	5,25	32,5	16,69
6,7	8,60	56,4	13,08
6,8	6,08	27,9	16,67
6,5	6,92	28,8	23,72
6,6	4,51	28,7	13,49
6,3	3,46	29,2	11,97
6,1	3,85	50,2	15,00
6,8	4,81	56,3	14,00
6,7	4,78	28,8	10,35
7,3	3,52	27,8	15,12
Średnia:	5,45	Średnia:	14,53
ŚWIERK – PRÓBKİ SUCHE		ŚWIERK – PRÓBKİ MOKRE	
Wilgotność [%]	Naprężenia ściskające [Mpa]	Wilgotność [%]	Naprężenia ściskające [Mpa]
10,3	8,66	37,3	6,17
10,0	10,21	40,5	6,33
16,2	7,13	34,8	5,34
16,9	9,33	37,0	6,27
17,1	7,97	34,8	6,56
11,7	4,10	34,3	5,32
14,8	5,07	34,6	7,98
14,6	6,14	35,0	5,67
17,1	4,35	38,0	6,61
15,8	11,85	35,6	5,87
15,8	11,00	35,2	5,92
18,8	6,44	34,6	5,53
Średnia:	7,69	Średnia:	6,13

Za pomocą ekstensometru zostały wyznaczone przemieszczenia, na podstawie których wzrost wyznaczono moduł Younga w zakresie 150–700 N. Zakres został dobrany tak, aby odnosił się do prostoliniowej części wykresu, ze względu na szybką zmianę charakteru z liniowo-sprężystego w plastyczny w próbkach mokrych.

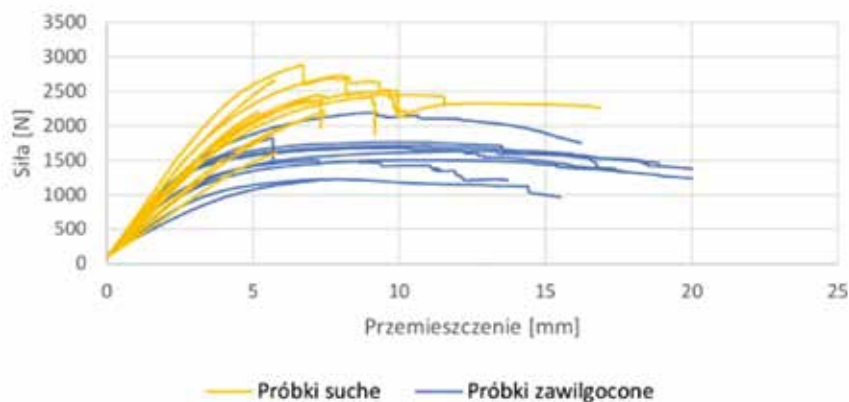
W badaniu zauważyć można inną dysproporcję wilgotności w próbkach sosnowych i świerkowych. W pierwszym przypadku wzrost wilgotności wyniósł około 50%, a w drugim około 30%. Zależność ta jest analogiczna do spadku wytrzymałości oraz modułu Younga próbek. W sosnie spadek wytrzymałości wyniósł średnio 64,2%, a dla świerku 39,5%. Moduł

**Tab. 5. Wyniki dla próby zginania; źródło: opracowanie własne**

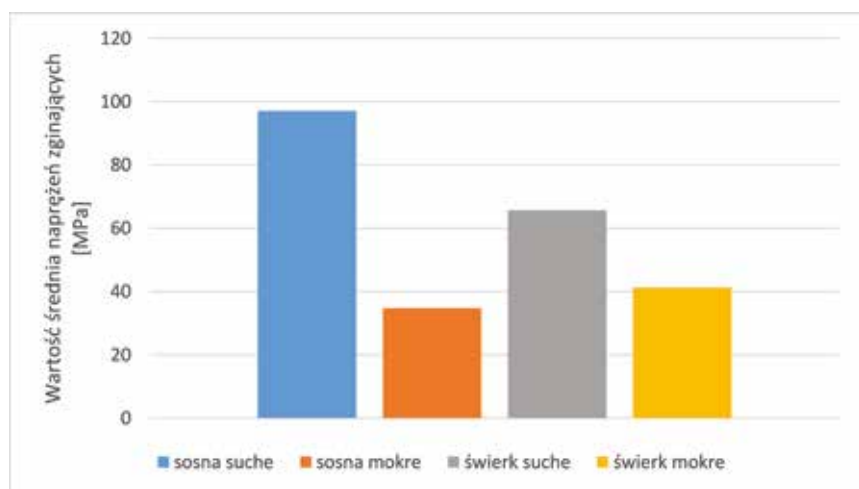
ZGINANIE					
SOSNA – PRÓBKİ SUCHE			SOSNA – PRÓBKİ MOKRE		
Wilgotność [%]	Napr. Zginające [MPa]	E [GPa]	Wilgotność [%]	Napr. Zginające [MPa]	E [GPa]
7,0	101,27	11,74	60,0	34,35	8,46
6,9	102,73	11,69	60,0	34,05	8,02
9,3	98,22	10,91	60,0	49,51	7,95
6,0	96,27	10,62	60,0	39,66	6,06
8,1	89,65	10,52	55,0	30,06	6,01
6,1	107,58	13,58	60,0	27,66	4,56
7,8	94,88	9,36	60,0	37,37	6,19
6,0	106,79	12,75	60,0	33,86	8,1
6,3	96,46	13,27	60,0	28,74	5,22
7,0	77,35	9,42	60,0	32,87	8,28
Średnia:	97,12	11,39	Średnia:	34,81	6,89
ŚWIERK – PRÓBKİ SUCHE			ŚWIERK – PRÓBKİ MOKRE		
Wilgotność [%]	Napr. Zginające [MPa]	E [GPa]	Wilg. [%]	Napr. Zginające [MPa]	E [GPa]
11,5	54,61	6,8	46,5	46,34	10,24
9,4	63,09	8,04	45,0	31,16	4,51
8,8	42,26	5,35	46,1	41	6,52
10,9	75,56	11	46,0	45,88	10,38
11,5	63,97	9,13	41,0	30,09	5,22
12,5	67,76	9,07	40,5	29,55	9,13
12,0	83,68	13,12	42,2	48,74	9,69
11,2	76,72	11,77	40,7	39,05	7,1
117,0	70,78	8,87	46,4	54,5	9,32
10,1	38,14	4,24	43,0	39,03	5,8
10,8	62,27	10,44	47,2	47,03	9,08
10,5	64,73	9,13	31,2	43,53	8,12
Średnia:	65,95	8,91	Średnia:	41,32	7,93



**Wykres 4. Porównanie wartości średnich naprężeń ściskających dla ściskania w poprzek włókien; źródło: opracowanie własne**



Wykres 5. Zginanie próbek świerkowych; źródło: opracowanie własne



Wykres 6. Wykres porównawczy wartości średnich naprężeń zginających; źródło: opracowanie własne

Younga z kolei obniżył wartość dla próbek sosnowych o prawie 40%, a dla świerkowych o 11%.

## Wnioski

Celem badania było sprawdzenie zależności wpływu wilgotności na parametry mechaniczne drewna iglastego. Potwierdzono, że wilgotność wpływa negatywnie na wytrzymałość drewna. W toku przeprowadzonych badań zauważono również zmianę charakteru zniszczenia. Próbki suche niszczyły się w sposób nagły i kruchy, podczas gdy próbki zawilgocone uzyskiwały swoistą ciągliwość, plastyczność. Odzwierciedleniem naszych badań w praktyce jest istotność zabezpieczenia materiałów drewnianych przed działaniem wody ze względu na zmniejszenie wytrzymałości omawianych materiałów wykorzystanych w badaniu.

Zgodnie z definicją dotyczącą wartości charakterystycznej próbki ze świeżego drewna wysuszone w warunkach powietrzno-suchych muszą uzyskać większą wytrzymałość od wartości charakterystycznych podanych

w [5]. Obowiązujące normy uwzględniają szybkość przykładania obciążeń za pomocą współczynnika  $k_{mod}$  [7], który zwiększa nośność proporcjonalnie do wzrostu przykładania obciążeń. W najbliższej przyszłości planowane jest wykonanie analiz mających na celu badanie wpływu prędkości przyrostu obciążenia na wytrzymałość drewna.

Uzyskane wyniki pokazują, że wzrost wilgotności drewna powoduje spadek jego właściwości mechanicznych niezależnie od jego gatunku.

## Bibliografia

- [1] Lis A., Lis P., Charakterystyka wytrzymałości drewna jako jego podstawowej właściwości mechanicznej, Politechnika Częstochowska 2013.
- [2] Neuhaus H., Budownictwo drewniane – poradnik inżyniera, Polskie Wydawnictwo Techniczne, Rzeszów 2008.
- [3] Kotwica J., Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym, Warszawa 2011.
- [4] Stefańczyk B. (red.), Budownictwo ogólne. Tom 1. Materiały i wyroby budowlane, Arkady, Warszawa 2005.
- [5] PN-EN 338:2016-06 Drewno konstrukcyjne – Klasy wytrzymałości.
- [6] Domański M., Osipiuk J., Metrologia techniczna w przemyśle drzewnym, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2005.
- [7] PN-EN 1995-1-1:2010 Eurokod 5 – Projektowanie konstrukcji drewnianych – część 1-1 – reguły ogólne i reguły dotyczące budynków

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań, których celem była ocena wpływu wilgotności wybranych gatunków drewna iglastego na wytrzymałość na zginanie oraz ściskanie wzdłuż i w poprzek włókien, a także wpływ na moduł sprężystości podłużnej przy zginaniu. W każdej próbie przebadano po 12 próbek w stanie suchym oraz po 12 próbek po zawilgoceniu dla drewna sosnowego i świerkowego. W toku przeprowadzonych badań stwierdzono zarówno spadki wytrzymałości w kolejnych próbach, jak i spadki modułu Younga przy zginaniu. Odnotowano też zmianę charakteru zniszczenia próbek w zależności od wilgotności.

**Słowa kluczowe:** drewno, wilgotność, próby wytrzymałościowe, parametry mechaniczne

**Abstract: EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF HUMIDITY ON THE MECHANICAL PARAMETERS OF CONIFEROUS WOOD.** The article presents the results of research aimed at evaluating the influence of moisture of selected coniferous wood species on bending strength and compression along and across the grain, as well as the effect on Young's modulus during bending. In each test, 12 dry samples and 12 wet samples were tested for two types of wood: pine and spruce. In the course of the tests, decreases in both strength in subsequent tests as well as decreases in Young's modulus during bending were found. It was also found that the nature of the destruction of the samples changed depending on the humidity.

**Keywords:** timber, moisture, strength tests, mechanical parameters