

Klaudia WAŚOWICZ*
Politechnika Szczecińska

KRATOWE KONSTRUKCJE PRZESTRZENNE Z DREWNA ŚREDNIOWYMIAROWEGO – OBLICZENIA I PRACE DOŚWIADCZALNE

Streszczenie. W artykule omówiono stan zaawansowania prac prowadzonych nad możliwością wykorzystania drewna okrągłego średniowymiarowego w odpowiedzialnych konstrukcjach budowlanych, szczególnie w konstrukcjach kratowych przestrzennych. Przedstawiono niektóre wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych materiału i konstrukcji oraz analiz obliczeniowych. Omówiono kierunki dalszych prac.

SPACE TRUSS MADE FROM MEDIUM SIZE WOOD – CALCULATION AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION

Summary. A state of progress in research on possibility to use medium size pinewood in a space structure was made in the lecture. Analyses of the experimental testing of the material and structures and the results of theoretical calculations were shown. There were discussed ways of the further work.

1. Wstęp

1.1. Ogólne informacje o drewnie średniowymiarowym

Drewno okrągłe średniowymiarowe, pochodzące z przecinek lasów młodnikowych, jest materiałem nieklasyfikowanym. Nie ma dotychczas większego zastosowania jako materiał konstrukcyjny. Wykorzystywane jest w budownictwie do elementów mało odpowiedzialnych, np: jako stemple budowlane, paliki, słupki, kołki faszynowe itp.

W Katedrze Budownictwa Ogólnego i Konstrukcji Drewnianych Politechniki Szczecińskiej prowadzi się badania nad możliwością wykorzystania drewna okrągłego o niewielkiej średnicy w przestrzennych prętowych konstrukcjach budowlanych. Wyniki prac zostały omówione w referatach wygłaszanych na konferencjach krajowych i międzynarodowych [1, 2, 3, 4, 5].

*Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Mielczarek.

1.2. Charakterystyka wymiarowa drewna okrągłego

Zgodnie z polskimi normami z zakresu przemysłu drzewnego, drewno okrągłe dzieli się na 3 klasy w zależności od średnicy przekroju [6]. W pracy zajęto się możliwością wykorzystania drewna średniowymiarowego, średnicy od 5 do 14 cm.

1.3. Zalety i wady drewna okrągłego i konstrukcji przestrzennych z drewna

Poniżej, w tabl. 1, zestawiono cechy drewna okrągłego i wykonanego z niego konstrukcji przestrzennych.

Tabela 1

Cechy drewna okrągłego i konstrukcji przestrzennych z drewna

Zalety		Wady	
materiał	konstrukcja	materiał	konstrukcja
- stosunkowo duża wytrzymałość - na rozciąganie i ściskanie - niewielka gęstość (lekkość) - niskie współczynniki przewodności cieplnej i akustycznej - łatwość obróbki - niski współczynnik rozszerzalności cieplnej - odporność na dymy i gazy chemiczne	- duża trwałość przy użytkowaniu w odpowiednich warunkach (suchych i przewiewnych) - estetyczny wygląd (dekoracyjność) - łatwość i szybkość montażu i demontażu (możliwość ponownego wykorzystania materiału) - nieskomplikowane podpory stałe (bez łożysk, dylatacji) - możliwość prowadzenia montażu w dowolnej porze roku	- higroskopijność (pęcznienie i kurczenie, pęknięcie) - wady wynikające z budowy morfologicznej - anizotropowość cech wytrzymałościowych - konieczność zabezpieczenia przed korozją biologiczną i fizyczną oraz ogniem	- trudność projektowania i wykonywania połączeń węzłów przestrzennych

1.4. Zastosowanie drewna okrągłego w Polsce

Drewno okrągłe, zarówno iglaste, jak i liściaste, jest obecnie w Polsce wykorzystywane w ograniczonym zakresie w rolnictwie, budownictwie, górnictwie [6]. Przykładami wykorzystania takiego drewna w naszym kraju są np.: słupy teleenergetyczne, drewno sklejkowe, załączane, okleinowe, drewno na przewodniki szybowe, słupy chmielowe, drewno kopalniakowe, opał.

1.5. Zastosowanie drewna okrągłego w budownictwie oraz drewna w konstrukcjach przestrzennych na świecie

Na świecie drewno o przekroju okrągłym ma szerokie zastosowanie w budownictwie do odpowiedzialnych, nośnych konstrukcji. Na przykład drewnianą konstrukcję gigantycznego dachu centrum rządowego w Herne – Sodingen (Niemcy) podpierają słupy okrągłe drewniane wysokości około 20 m. na siatce 16 x 16 m. Słupy z obrobionych pni białych dębów stanowią potężne pylony olbrzymiego wspornikowego drewnianego zadaszenia zbudowanego na

Expo w Hanowerze. W eksponowanym miejscu drewnianej konstrukcji parterowego złołka w Bremen, (Niemcy) zastosowano słupy drewniane o przekroju okrągłym. Konstrukcję nośną z drewna okrągłego zastosowano pod zadaszenie centrum kulturalnego Parku Narodowego Uluru w Ayers Rock w Australii. Okrągłe pręty drewniane podpierające konstrukcję dachu zastosowano w domu mieszkalnym w Cape Town, (Południowa Afryka). Konstrukcje budynków wykorzystującą pręty drewniane okrągłe występują m.in. w Dorset (Anglia), w Adirondacks w stanie Nowy York (USA). Konstrukcja zadaszenia w Skandynawskim Centrum Artystów w Dalsasen (Norwegia) ma klejone dźwigary wzmocnione ściągiem stalowym ze słupkami z drewna okrągłego. Przykładów zastosowań jest znacznie więcej.

Drewno stosuje się także w kratowych konstrukcjach przestrzennych. Na przykład wielko-przestrzenne przekrycie kolebkowe siatkowe o wymiarach około 70 x 40 m z prętów drewnianych ze ściągami stalowymi wykonano nad dziedzińcem wewnętrznym parlamentu w Londynie, a sklepienie o wymiarach około 50 x 25 m z prętów drewnianych ze ściągami stalowym, będące przekryciem nad placem rekreacyjnym, zrealizowano przy szkole w Londynie.

2. Obliczenia

Przeprowadzono obliczenia wielu konstrukcji przestrzennych o różnych parametrach wymiarowych (zmiany smukłości i modułu konstrukcyjnego). Analizowano także wpływ sztywności węzłów na wyniki obliczeń (węzły przegubowe i sztywne). Obliczenia struktur i krat wykonano przy użyciu programu komputerowego Robot.

2.1. Obliczenia wykonano przy następujących założeniach:

- średnice prętów: 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 i 120 mm,
- wymiary struktury (przyjęto zgodnie z wymogami dla konstrukcji przestrzennych stalowych, ze względu na brak podobnych wskazówek w odniesieniu do konstrukcji drewnianych):
 - rozpiętość l_x przyjęto równą 6, 12, 18, 24, 30, 36 i 42 m,
(l_x – mniejsza rozpiętość)
 - smukłość przekrycia $10 \leq L / h \leq 25$,
gdzie: L - większa rozpiętość struktury, h – wysokość struktury,

- moduł konstrukcyjny $h \leq a \leq 2h$ oraz $\alpha = 45$ do 60° ,

gdzie: a – rozstaw siatki węzłów, α – kąt nachylenia krzyżulca do płaszczyzny poziomej.

Do obliczeń wstępnie przyjęto:

$a = 0,6, 0,8, 1,0, 1,2, 1,4 \text{ m}, 1,8, 2,4, 3,0, 3,6 \text{ m}$ i $4,2 \text{ m}$,

$h = 0,3, 0,6, 0,9, 1,2, 1,5, 1,8, 2,1$ i $2,4 \text{ m}$.

Zestawienie parametrów geometrycznych struktur drewnianych po dokonaniu korekt uwzględniających wszystkie powyższe wymagania, przedstawiono w tabl.2.

Tabela 2

Zestawienie parametrów geometrycznych

Rozpiętość L [m]	Wysokość h [m]	Smukłość $10 \leq L / h \leq 25$	Znormalizowany rozstaw siatki węzłów a [m], nachylenie krzyżulców w granicach $45^\circ - 60^\circ$
6	0.6	10.0	0.80 – 0.60
12	0.9	13.3	1.20 – 0.80
	1.2	10.0	1.80 – 1.00
18	0.9	20.0	1.20 – 0.80
	1.2	15.0	1.80 – 1.00
	1.5	12.0	2.40 – 1.20
24	1.2	20.0	1.80 – 1.00
	1.5	16.0	2.40 – 1.20
	1.8	13.3	2.40 – 1.40
	2.1	11.4	3.00 – 1.80
30	1.2	25.0	1.80 – 1.00
	1.5	20.0	2.40 – 1.20
	1.8	16.7	2.40 – 1.40
	2.1	14.3	3.00 – 1.80
	2.4	12.5	3.60 – 1.80
36	2.1	17.1	3.00 – 1.80
	2.4	15.0	3.60 – 1.80

2.2. Zakres obliczeń

Wykonano następujące obliczenia konstrukcji i ich elementów [8]:

- Obliczenie nośności na rozciąganie i ściskanie z wyobczeniem prętów drewnianych okrągłych o średnicach od 50 do 120 mm dla skokowych długości od 0,6 do 4,2 m, z drewna klas granicznych C24 i C40, z uwzględnieniem sposobu zamocowania pręta w węzle (przegub i zamocowanie). Otrzymano zakres dopuszczalnej pracy prętów drewnianych o określonych średnicach, co umożliwiła dobór przekrojów dla analizowanych konstrukcji przestrzennych. W tabl. 3 zestawiono przykładowo wyniki obliczeń wybranych prętów średnicy 50, 90, 120 mm.

- b) Obliczenie sił powstających w prętach konstrukcji przestrzennej dla dwu wariantów: kraty – przegubowe połączenia prętów w węzłach i ramy – połączenia sztywne; konstrukcja o wymiarach przedstawionych na rys.1, nawiązujących do badanego wycinka struktury omówionego w pkt 3.1 i 3.2, a także wyznaczenie przemieszczeń pionowych węzłów siatki dolnej;

Tabela 3

Zestawienie nośności prętów z drewna klasy C24 i C40 o średnicach 50, 90 i 120 mm różnej długości połączonych w węzle: przegubowo (a) i zamocowanych sztywno (b)

Średnica pręta Mm	Drewno klasy C24					Drewno klasy C40				
	nośność na rozcz. kN	długość pręta m	nośność (a) na ścisk. kN	długość pręta m	nośność (b) na ścisk. kN	nośność na rozcz. kN	długość pręta m	nośność (a) na ścisk. kN	długość pręta m	nośność (b) na ścisk. kN
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50	19.03	0.60	-24.86	0.60	-27.97	32.62	0.60	-31.00	0.60	-34.71
		0.80	-18.78	0.80	-25.76		0.80	-23.66	0.80	-32.07
		1.00	-13.22	1.00	-22.03		1.00	-16.73	1.00	-27.62
		1.20	-9.55	1.20	-17.52		1.20	-12.11	1.20	-22.10
		1.40	-7.17	1.40	-13.69		1.40	-9.10	1.40	-17.32
		1.80	-4.45	1.80	-8.73		1.80	-5.64	1.80	-11.07
90	61.66	0.80	-89.64	1.00	-91.79	105.70	0.80	-111.28	1.00	-113.86
		1.00	-83.74	1.20	-88.66		1.00	-104.25	1.20	-110.10
		1.20	-74.70	1.40	-84.46		1.20	-93.48	1.40	-105.10
		1.40	-63.19	1.80	-71.38		1.40	-79.54	1.80	-89.50
		1.80	-42.83	2.40	-48.11		1.80	-54.21	2.40	-60.83
		2.40	-25.46	3.00	-32.58		2.40	-32.29	3.00	-41.29
120	109.62	1.00	-161.36	1.40	-161.92	187.92	1.00	-200.23	1.40	-200.90
		1.20	-154.70	1.80	-152.24		1.20	-192.26	1.80	-189.34
		1.40	-145.43	2.40	-126.90		1.40	-181.25	2.40	-159.11
		1.80	-117.58	3.00	-94.85		1.80	-147.82	3.00	-119.78
		2.40	-76.15	3.60	-69.95		2.40	-96.37	3.60	-88.58
		3.00	-51.03	4.20	-52.97		3.00	-64.70	4.20	-67.14
		3.60	-36.26				3.60	-46.00		

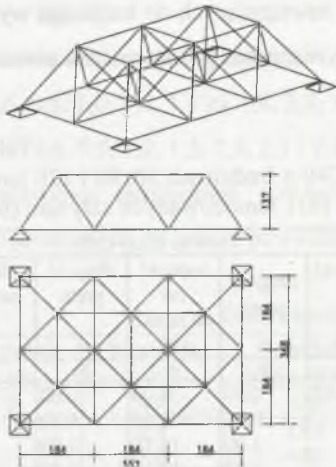
- c) Obliczenie sił powstających w prętach konstrukcji przestrzennej dla dwu wariantów: kratownicy i ramy, z uwzględnieniem konstrukcji o wymiarach przedstawionych na rys.2, wg, której następuje montaż kolejnego układu do badań doświadczalnych, a także wyznaczenie przemieszczeń pionowych węzłów siatki dolnej.

3. Prace doświadczalne

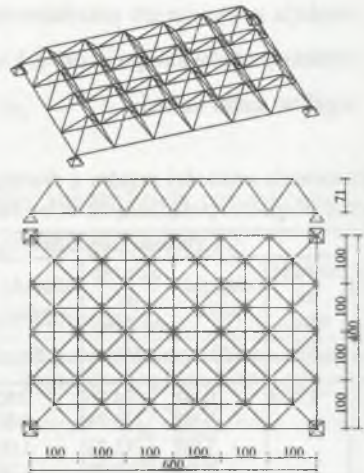
3.1. Badania konstrukcji przestrzennej struktury wykonanej z drewna klasyfikowanego

Zbudowano wycinek struktury obejmujący 2 x 3 pola, każde o wymiarach 1,84 x 1,84 m w osiach oraz wysokości 1,37 m. Kąt nachylenia krzyżulców wynosił 48°. Zastosowano pręty o

przekroju pełnym okrągłym średnicy 78 mm. Przyjęto podpory nieprzesuwne. Schemat badanej konstrukcji przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wycinek badanej struktury
Fig. 1. Fragment of tested structure



Rys. 2. Fragment struktury przygotowywanej do badania
Fig. 2. Fragment of prepared structure

3.2. Badania struktury wykonanej z drewna średniowymiarowego

Drewno do prac badawczych zostało przywiezione z miejsca wyrębu w postaci kłód (długość 2,7 – 6,0 m) oraz dłużyc (długość powyżej 6,0 m). Do badań przystąpiono po sezonowaniu drewna przez ponad rok. Analizie poddano wycinek struktury o takiej geometrii, jak konstrukcji przestrzennej opisanej w punkcie 3.1. Zestawienie zakresu badań pokazano w tabl.4.

Tabela 4

Zestawienie przeprowadzonych badań

Lp	Badanie	Obciążenie kN/ każdy górny węzeł	Pomierzono	Metody pomiaru
1	2	3	4	5
1.	Badanie wstępne	5	- siły w prętach - ugięcia węzłów dolnych - przemieszczenie poziome węzła górnego	- czopiki - tensometry - czujnik zegarowy przemieszczeń
2.	Badanie do zniszczenia	5,0 10,0, 15,0	- siły w prętach	- czopiki - tensometry
3.	Badanie struktury	2,5 5,0 7,0	- siły w prętach - ugięcia węzłów dolnych - przemieszczenie poziome węzła górnego	- czopiki - tensometry - czujnik zegarowy przemieszczeń
4.	Badanie podatności węzłów	2,5 5,0 7,5	- wzajemne przesunięcia pręta w węzle - ugięcia węzłów dolnych - przemieszczenie poziome węzła górnego	- czopiki - tensometry - czujnik zegarowy przemieszczeń

3.3. Badania materiałowe

Wykonano badania materiałowe drewna średniowymiarowego sezonowanego o wilgotności 10-12%, uzyskanego z przecinek sanitarnych i przeciwpożarowych lasu młodnikowego. Próbkę wykonano zgodnie z zaleceniami norm [9] + [16].

Wyniki badań materiałowych drewna średniowymiarowego zestawiono w tabl. 5 i porównano z drewnem konstrukcyjnym C24 i C40.

Tabela 5

Zestawienie badań materiałowych

Lp.	Rodzaj badania	Wartości doświadczalne	Wartości średnie dla drewna konstrukcyjnego (sosna i świerk), wg [6]	Wartości charakterystyczne normowe dla drewna C24 - C40, wg [7]
1	2	3	4	5
1	Ciężar objętościowy, kN/m ³	5,40	5,10	3,50 - 4,20
2	Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien, MPa	60	42,4	21 - 26
3	Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien, MPa	68	95,2	14 - 24
4	Wytrzymałość na zginanie, MPa	86	70,6	24 - 40
5	Wytrzymałość na ścinanie wzdłuż włókien, MPa	3,50	8,2	2,50 - 3,80
6	Wytrzymałość na ścinanie w poprzek włókien, MPa	3,80	21,0	-

Różnice między wartościami doświadczalnymi badania drewna średniowymiarowego z lasów młodnikowych (3) i średnimi dla drewna konstrukcyjnego (4) wynikają z różnicy wieku materiału (drewno konstrukcyjne uzyskuje się z drzew 80-120-letnich) oraz ze sposobu pobierania próbek do badań (nie ma możliwości zastosowania zalecenia ominięcia strefy przyrdzeniowej przekroju ze względu na niewielki przekrój materiału w stosunku do wielkości normowej próbek).

Wartości z badań doświadczalnych podane w kolumnach 3 i 4 tablicy 5 są wytrzymałością doraźną (krótkotrwałą), a wartości normowe podane w kolumnie 5 są wytrzymałością trwałą (długotrwałą). Różnice między wartościami doświadczalnymi oraz wartościami normowymi wynikają z uwzględnienia wpływu czasu na pracę drewna (reologia materiału). Przeprowadzone badania i rozważania teoretyczne wykazały, że wytrzymałość trwała stanowi część wytrzymałości doraźnej otrzymanej na podstawie badań, np. wytrzymałość na zginanie powinna być nie mniejsza niż 55% wytrzymałości doraźnej.

4. Zakres obecnie prowadzonych badań

4.1. Opracowanie nowych wariantów połączeń węzłowych i przeprowadzenie prób wytrzymałościowych

Spśród wielu opracowanych wariantów połączeń prętów drewnianych w węzłach przyjęto do dalszych badań doświadczalnych 3 rozwiązania:

typ A - płaskownik wprowadzony w nacięty pręt drewniany i łączony śrubami (rys.3),

typ B - płaskownik wprowadzony w nacięty pręt drewniany i klejony (rys.4),

typ C - płaskownik z przyspawanym prostopadłym prętem wprowadzony w nacięty pręt drewniany i łączony śrubą (rys.5).

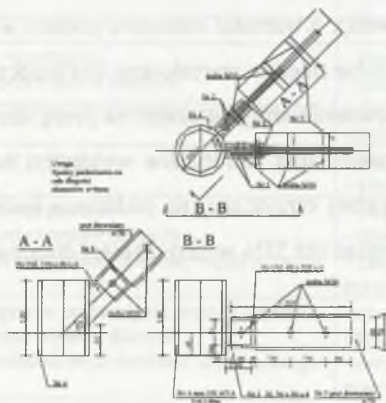
Przeprowadzono badania wytrzymałościowe połączeń węzłowych i otrzymano wyniki zestawione w tabl. 6.

Tabela 6

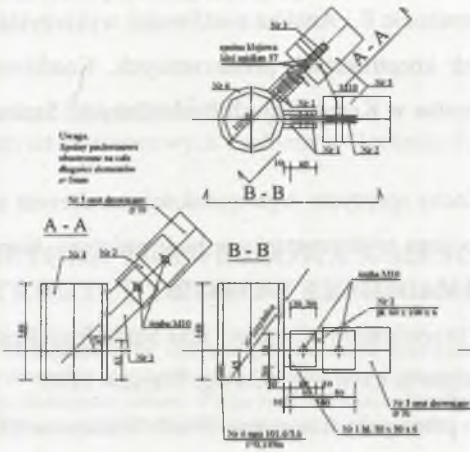
Zestawienie badań węzłów

Lp.	Typ	Materiał				Zniszczenie kN	Sposób zniszczenia
		drewno mm	stal mm	klej	łączniki mm		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	A	pręt $\varnothing 70$	płaskownik 6	-	2 śruby $\varnothing 10$	24	ścięcie drewna przez śrubę
					3 śruby $\varnothing 10$	48	ścięcie drewna przez śrubę
2	B	pręt $\varnothing 70$	płaskownik 6	epidian 57	1 śruba $\varnothing 10$	38	ścięcie drewna wzdłuż połączenia klejowego
3	C	pręt $\varnothing 70$	płaskownik 6 bolcem $\varnothing 12$	-	1 śruba $\varnothing 10$	25	zgniecenie drewna przez prostopadły bolc

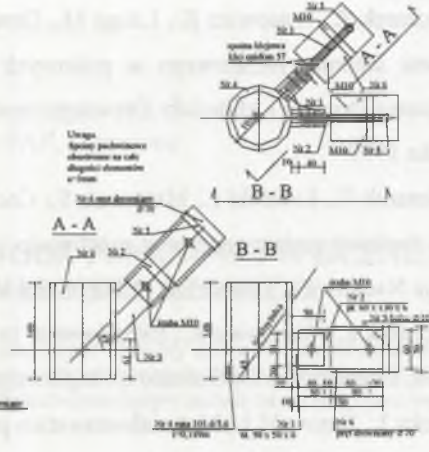
Do badań doświadczalnych przyjęto typ A z 2 śrubami ze względu na prostotę i szybkość wykonania. Otrzymana wartość nośności połączenia jest zadowalająca i przekracza nośność obliczeniową prętów drewnianych.



Rys. 3. Węzeł typu A
Fig. 3. Node A



Rys. 4. Węzeł typu B
Fig. 4. Node B



Rys. 5. Węzeł typu C
Fig. 5. Node C

4.2. Budowa nowego fragmentu konstrukcji

Obecnie trwają przygotowania do badań fragmentu struktury o nowych parametrach geometrycznych, z drewna średniowymiarowego sezonowanego i obrobionego do przekroju okrągłego.

Przyjęto następującą geometrię nowej konstrukcji (rys.2):

- moduł siatki dolnej 1,0 x 1,0 m,
- wysokość 0,71 m,
- wymiary płaszczyzny dolnej 4,0 x 6,0 m.

LITERATURA

- Mielczarek Z.: Application of Fibre Crops nad Wood Waste in Polish Building Industry, Use of Vegetable Plants and Their Fibres as Building Materials, Joint Symposium Baghdad – Iraq 1986.
- Mielczarek Z., Matraszek S., Hsino M.: Investigation of Mechanical Characteristics of Small Dimension Wood, International Conference on Tropical and Hardwood Timber Structures, Kuala Lumpur, Malaysia 1992.

3. Mielczarek Z., Wąsowicz K., Lange M., Draskocic F.: Analiza możliwości wykorzystania drewna średniowymiarowego w prętowych konstrukcjach przestrzennych, Konferencja Naukowa Drewno i Materiały Drewnopochodne w Konstrukcjach Budowlanych, Szczecin Polska 1999.
4. Mielczarek Z., Łaciński J., Matraszek S.: Cechy sprężysto-wytrzymałościowe drewna ma-
ło- i średniowymiarowego oraz możliwości jego wykorzystania w budownictwie, Konfe-
rencja Naukowo – Techniczna nt Inżynieria Materiałowa, t. 3, s.106-128.
5. Mielczarek Z., Wąsowicz K.: Experimental Investigation of Space Truss Made from Round
Wood, International Conference on Lightweight in Civil Engineering, Warsaw 1998.
6. Szczuka J., Żurowski J.: Materiałoznawstwo przemysłu drzewnego, WsiP, Warszawa 1995.
7. Michniewicz W.: Konstrukcje drewniane, Arkady, Warszawa 1958.
8. PN-B-03150/2000 Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie.
9. PN-77/D-04227 Drewno. Ogólne wytyczne pobierania i przygotowania próbek
10. PN-77/D-04101 Drewno. Oznaczanie gęstości.
11. PN-81/D-04108 Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie w poprzek włókien.
12. PN-81/D-04107 Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien.
13. PN-79/D-04105 Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ścinanie wzdłuż włókien.
14. PN-77/D-04229 Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie w poprzek włókien.
15. PN-79/D-04102 Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien.
16. PN-77/D-04103 Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie statyczne.

Recenzent: Prof. dr inż. Wojciech Włodarczyk

Abstract

A state of progress in research on possibility to use medium size pinewood in a space structure was made in the lecture. Analyses of the experimental testing of the material and structures and the results of theoretical calculations were shown. There were discussed ways of the further work.