

## SPRĘŻYSTOŚĆ PŁYT PILŚNIOWYCH WYTWORZONYCH Z DREWNA ORAZ SŁOMY ŻYTNIEJ

Gabriel Czachor, Jerzy Bohdziewicz

*Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** Porównano sprężystość płyt pilśniowych wytworzonych z drewna oraz słomy żytniej. Wyznaczono charakterystyki opisujące zależności względnych zmian wartości umownej granicy sprężystości w funkcji wartości odkształcenia granicznego. Określono także zmiany wartości współczynnika sprężystości w funkcji poziomu obciążenia. Stwierdzono, że dla obu rodzajów materiałów płyt przebieg analizowanych charakterystyk jest podobny, co potwierdza zasadność wykorzystania słomy jako substytutu drewna. Stwierdzono również, że dla tych materiałów płyt optymalnym jest określenie umownej granicy sprężystości na poziomie  $\epsilon_i = 0,05\%$ .

**Słowa kluczowe:** płyty pilśniowe, słoma, sprężystość

### Wprowadzenie

Konstrukcyjne tworzywa drewnopochodne EWP (Engineered Wood Products) w coraz szerszym zakresie stają się wysokiej jakości substytutami drewna. W tworzonych na bazie odpadów drzewnych kompozytach eliminuje się wady typowe dla tego surowca, uzyskując wysoką jednorodność materiału i stabilizację właściwości wytrzymałościowych [Piotrkowski 2002]. Dla EWP szczególnie istotne są właściwości sprężyste, decydujące o zakresie obciążalności konstrukcji wykonanej z tych materiałów. W przypadku płyt pilśniowych wykorzystywanych w budownictwie, meblarstwie, budowie wagonów kolejowych i innych środków transportu ich sprężystość z uwagi na zakres stosowania może odgrywać mniejszą rolę, [PN – EN 316: 2001]. Dotyczy to również płyt pilśniowych zawierających komponent słomy. Badania wykazały, że ich właściwości użytkowe odpowiadają wymogom normy PN – EN 622 - 3: 2001 [Danecki 2006, Moś i Czachor 2007]. Jednakże w przeprowadzonych badaniach nie sprawdzano właściwości sprężystych tych płyt.

Sprężystość materiałów drewnianych i drewnopochodnych przyjęto określać poprzez wyznaczenie modułu sprężystości na podstawie liniowego odcinka zależności siła – odkształcenie [PN - 59/D - 04118, PN - EN 310: 1994]. W normie PN – EN 310: 1994 sprecyzowano zakres pomiarowy zawierający się pomiędzy 10-40% wartości siły maksymalnej rejestrowanej w statycznej próbie zginania, przy tym nie zdefiniowano położenia umownej granicy sprężystości. Materiały płyt pilśniowych ze względu na swoją specyficzną strukturę nie są obiektami, które w pełni mogą być traktowane jako jednorodne kontinuum. Dlatego zachodzi konieczność określenia ich sprężystości nie na podstawie liniowego odcinka zależności siła – odkształcenie, lecz w oparciu o skutki działania siły, zgodnie ze znaną definicją sprężystości: „jako mechanicznej właściwości powracania ciał

definicją sprężystości: „jako mechanicznej właściwości powracania ciał do pierwotnego kształtu i rozmiaru po zdjęciu obciążenia wywołującego odkształcenie” [Encyklopedia 2008]. Skutki działania obciążenia przyjęto rejestrować w teście pętli histerezy i najczęściej definiowano jako względny przyrost odkształcenia plastycznego, tzw., stopień sprężystości [Brzowska 1986] oraz jako wskaźnik elastyczności - zdolność do akumulowania energii sprężystej [Bohdziewicz 2007].

Celem niniejszej pracy było porównanie właściwości sprężystych płyt pilśniowych zawierających przetworzone drewno lub słomę. Dodatkowo określano korelację pomiędzy wskaźnikiem charakteryzującym umowną granicą sprężystości z wartością wskaźnika charakteryzującego zmiany sprężystości przy obciążeniu cyklicznym.

## Obiekt badań, metodyka

Obiektem badań była eksperymentalna partia płyt pilśniowych wytworzonych w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Przemysłu Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie [Danecki 2006]. Do badań wykorzystano płyty podlegające hartowaniu i zawierające tylko przetworzone drewno sosnowe oraz tylko przetworzone elementy słomy żytniej. Badania realizowano następującymi etapami:

1. Pierwszą partię próbek poddano testowi jednoosiowemu rozciągania, a następnie wyznaczono charakterystykę naprężenie-odkształcenie. Określono wytrzymałość na rozciąganie  $R_r$ , granicę proporcjonalności  $R_h$  oraz umowną granicę sprężystości  $R_i$ , gdzie wartość odkształcenia granicznego  $\varepsilon_i = i$  określono dla  $i = 0,005\%$ ;  $0,01\%$ ;  $0,05\%$ ;  $0,1\%$ . Dla granicy  $R_h$  wartość  $\varepsilon_i = 0\%$ . Następnie zestawiono dla każdej wartości  $\varepsilon_i$  otrzymane wartości  $R_i$  odniesione do wytrzymałości  $R_r$  (rys 1). Zależność tą opisano funkcję wykładniczą:

$$R_i \cdot R_r^{-1} = a_1 + b_1 \cdot \varepsilon_i^{c_1} \quad (1)$$

gdzie:

$a_1, b_1, c_1$  – współczynniki równania (1).

2. Drugą partię próbek poddano cyklicznemu obciążeniu. Wyznaczono zmienność wartości współczynnika sprężystości  $W_{spr}$  w funkcji liczby cykli  $N_c$ . W pętli histerezy zastosowano następujące poziomy obciążenia: 10%; 30%; 50%; 70%; 90% wytrzymałości na rozciąganie  $R_r$ . Wówczas wartości wskaźnika  $p_\sigma$  definiowanego jako stosunek naprężenia  $\sigma_0$  zastosowanego w pętli histerezy do wytrzymałości  $R_r$ , zawierały się w przedziale  $0,1 \div 0,9$ . Wartość współczynnika sprężystości  $W_{spr}$  przyjęto jako miarę zdolności kumulacji energii sprężystej. Następnie dla próbek zawierających drewno lub słomę oraz dla  $N_c = 1; 10$  zestawiono wszystkie uzyskane wartości  $W_{spr}$ . Zależność zmian wartości  $W_{spr}$  od poziomu obciążenia  $p_\sigma$  opisano następującą formułą empiryczną:

$$W_{sp} = a_2 + b_2 \cdot p_\sigma + c_2 \cdot (\ln p_\sigma)^{-1} \quad (2)$$

gdzie:

$a_2, b_2, c_2$  – współczynniki równania (2).

3. Zestawiono dwie zależności matematyczne (1) i (2) oraz przyjęto następujące założenie: wartości  $R_i \cdot R_r^{-1}$  są dla pierwszego cyklu tożsame z wartościami  $p_\sigma$ . Na tej podstawie obliczono wartości  $W_{spr}$  dla konkretnych wartości  $\varepsilon_i$ . Następnie wyznaczono spadki wartości współczynnika sprężystości  $\Delta W_{spr}$  występujące w miarę zwiększania wartości granicznych  $\varepsilon_i$ , co przedstawiono na rysunku 3.

Testy jednoosiowego rozciągania oraz testy pętli histerezy wykonano używając maszynę wytrzymałościową Instron 5566 i głowicę pomiarową o zakresie 1 kN. Prędkość przemieszczania belki roboczej wynosiła  $8,3 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Standardowe próbki mocowane w uchwytach mechanicznych firmy Instron. Przebieg osiowego odkształcenia próbki rejestrowano przy pomocy ekstensometru. Kształt próbki odpowiadał zaleceniom normy PN - 79/D - 04231. Z każdej partii materiału pobrano trzydzieści próbek, licząc po sześć próbek dla każdego z poziomów obciążenia zastosowanego w pętli histerezy. Dla każdej próbki rejestrowano zmiany odkształcenia zachodzące w 10 cyklach. Dla każdego cyklu wyznaczono wartości współczynnika sprężystości  $W_{spr}$

$$W_{spr} = \frac{U_{RS}}{U_R} \quad (3)$$

gdzie:

$U_{RS}$  – energia akumulowana i wydatkowana podczas powrotu sprężystego,

$U_R$  – nakłady pracy odkształcenia przy obciążeniu.

Do obróbki danych wykorzystano pakiet statystyczny Statistica 8.

## Wyniki

Na podstawie dokonanych pomiarów i wyników obliczeń zestawionych na rysunku 1 stwierdzono, że nie ma statystycznie istotnych różnic pomiędzy zmianami  $R_i \cdot R_r^{-1} = f(\varepsilon_i)$  dla obu rodzajów materiałów płyt. Uśredniono wyniki dla tych materiałów i wyznaczono nowe równanie empiryczne:

$$R_i \cdot R_r^{-1} = 0,189 + 1,57 \cdot \varepsilon_i^{0,41}; (R^2 = 0,961) \quad (4)$$

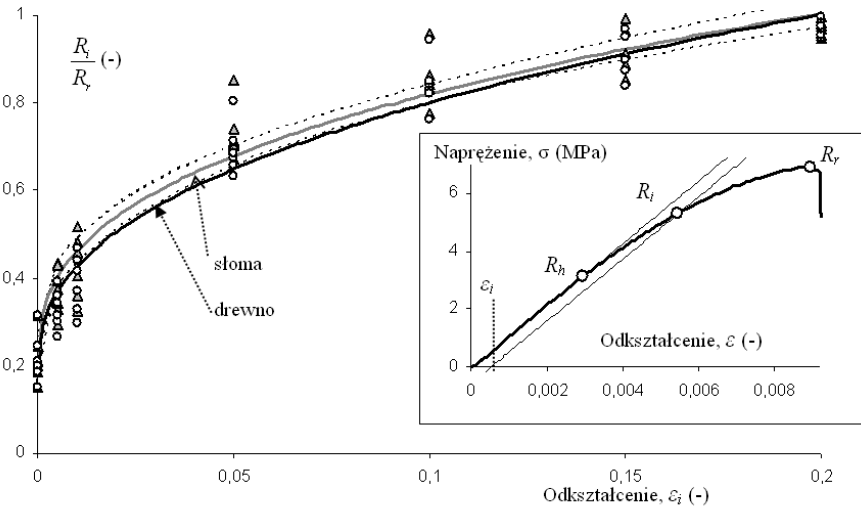
Do opisu zmian wartości współczynnika sprężystości  $W_{spr}$  w zakresie zmian poziomu obciążenia  $p_\sigma = 0,1 \div 0,9$  przyjęto równanie (2). Dodatkowo do opisu zmian  $W_{spr}$  w zakresie  $p_\sigma = 0,1 \div 0,5$  wykorzystano następujące równanie:

$$W_{spr} = \alpha_1 \cdot p_\sigma + \beta_1 \quad (5)$$

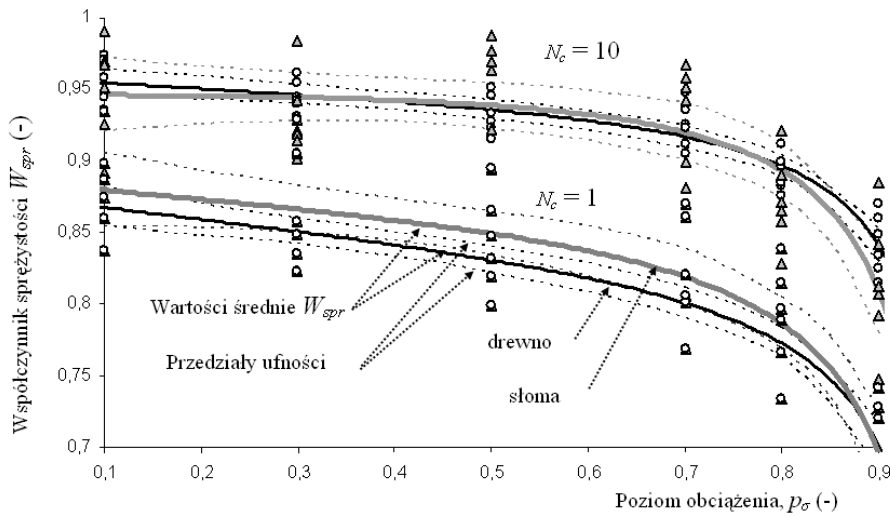
Trendy, jakim podlegają przyrosty wartości  $\Delta_c W_{spr}$  wywołane cyklicznym obciążeniem wyrażono formułą:

$$\Delta_c W_{spr} = \alpha_2 \cdot p_\sigma + \beta_2 \quad (6)$$

Przyrost określono jako różnicę pomiędzy wartością  $W_{spr}$  wyliczaną dla cykli dziesiątego i pierwszego.



Rys. 1. Zależność względnej wartości umownej granicy sprężystości  $R_i/R_r$  od odkształcenia  $\varepsilon_i$ , wyznaczona dla przetworzonego drewna i słomy. W ramce typowa charakterystyka  $\sigma = f(\varepsilon)$   
 Fig. 1. Dependence of relative value of conventional elasticity limit  $R_i/R_r$  on strain  $\varepsilon_i$ , determined for wood and straw after processing. The frame contains typical characteristic:  $\sigma = f(\varepsilon)$



Rys. 2. Wartości współczynnika sprężystości  $W_{spr}$  w funkcji poziomu obciążenia  $p_\sigma$  oraz liczby cykli  $N_c$  dla przetworzonego drewna i słomy  
 Fig. 2. Values of elasticity coefficient  $W_{spr}$  in function of load level  $p_\sigma$  and number of cycles  $N_c$  for wood and straw after processing

## Sprężystość płyt pilśniowych...

Tabela 1. Wartości współczynników równań: (2), (5), (6)

Table 1. Values of equation coefficients: (2), (5), (6)

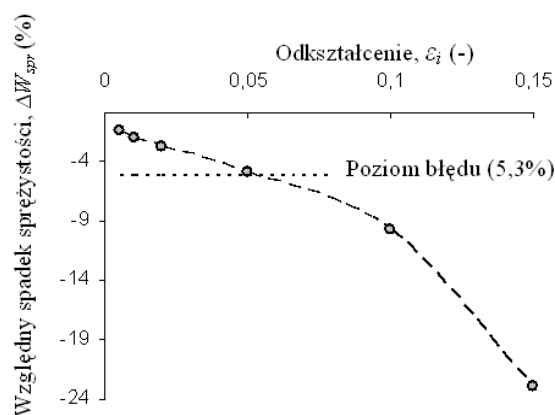
Materiał	Cyle, $N_c$	$W_{spr} = a_2 + b_2 \cdot p_\sigma + c_2 \cdot (\ln p_\sigma)^{-1}$				$W_{spr} = \alpha_1 \cdot p_\sigma + \beta_1$		$\Delta_c W_{spr} = \alpha_2 \cdot p_\sigma + \beta_2$	
		$a_2$	$b_2$	$c_2$	$R^2$	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\alpha_2$	$\beta_2$
drewno	1	0,879	-0,059	0,013	0,893	-0,110	0,882	0,059	0,079
	10	0,962	-0,021	0,011	0,878	-0,065	0,965		
słoma	1	0,891	-0,032	0,017	0,765	-0,098	0,893	0,058	0,061
	10	0,952	0,024	0,017	0,646	0,007	0,942		

Źródło: obliczenia własne autorów

Jak wynika z analizy rysunku 2 oraz danych zamieszczonych w tabeli 1, dla płyt zawierających tylko przetworzone drewno lub słomę oraz dla cykli  $N_c = 1$  i  $N_c = 10$  wzrost poziomu obciążenia powoduje systematyczny spadek wartości współczynnika sprężystości  $W_{spr}$ . Szczególnie zauważalne jest to w zakresie  $p_\sigma = 0,1 \div 0,5$ , dla  $p_\sigma > 0,5$  następuje przyspieszony spadek wartości  $W_{spr}$ . Nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu zawartości komponentu na przebieg analizowanych zmian  $W_{spr} = f(p_\sigma)$ . Zaproponowano dla obu materiałów płyt przy  $N_c = 1$  cyklu następującą formułę:

$$W_{spr} = 0,885 - 0,046 \cdot p_\sigma + 0,0153 \cdot (\ln p_\sigma)^{-1} \quad (R^2 = 0,806) \quad (7)$$

Zmiany w strukturze badanego materiału wywołane cyklicznymi obciążeniami w zakresie od  $N_c = 1$  do  $N_c = 10$  cyklu skutkują statystycznie istotnym przyrostem jego sprężystości. Dotyczy to obu rodzajów materiału płyt. Zmiany wartości współczynnika sprężystości  $\Delta_c W_{spr}$  rosną w miarę zwiększania poziomu obciążenia, w większym zakresie dla płyt wykonanych tylko z drewna. Wskazuje to na ich większą podatność na pozorne umocnienie wywołane oddziaływaniem o charakterze cyklicznym.



Rys. 3. Zależność względnego spadku sprężystości  $\Delta W_{spr}$  od odkształcenia granicznego  $\epsilon_i$

Fig. 3. Dependence of relative elasticity drop  $\Delta W_{spr}$  on boundary strain  $\epsilon_i$

Na rysunku 3 zestawiono względne spadki sprężystości  $\Delta W_{spr}$ , określono jako różnice pomiędzy wartością współczynnika sprężystości  $W_{sp}$  dla granicy proporcjonalności  $R_h$  a wartościami współczynników wyznaczonych dla kolejnych umownych granic sprężystości  $R_i$  (rys. 1). Błąd wyznaczenia wartości względnego spadku sprężystości  $\Delta W_{spr}$ , odniesiono do średniej wartości szerokości przedziału ufności, wyznaczonych dla przebiegu  $W_{sp}(p_\sigma)$ .

Jak wynika z analizy rysunku 3 dla tego typu materiału optymalną jest umowna granica sprężystości na poziomie  $\varepsilon_i = 0,05\%$ , ponieważ dla mniejszych wartości  $\varepsilon_i$  położenie umownej granicy sprężystości  $R_i$  mieści się w granicach błędu statystycznego. Natomiast dla wartości  $\varepsilon_i \geq 0,1\%$  następuje wyraźny spadek sprężystości.

## Podsumowanie

Stwierdzono, że dla płyt pilśniowych zawierających przetworzone drewno lub słomę rodzaj badanego materiału nie ma istotnego wpływu na przebieg charakterystyk opisujących zmiany właściwości sprężystych. Dlatego dla obu materiałów zaproponowano następujące formuły:

$$R_i \cdot R_r^{-1} = 0,189 + 1,57 \cdot \varepsilon_i^{0,41} \quad \text{oraz} \quad W_{spr} = 0,885 - 0,046 \cdot p_\sigma + 0,0153 \cdot (\ln p_\sigma)^{-1}$$

Dla tych materiałów charakterystyczny jest liniowy spadek sprężystości rejestrowany w teście histerezy do poziomu obciążenia 50%  $R_r$ . Wartość umownej granicy sprężystości  $R_{0,05}$  wyznaczonej w teście rozciągania odpowiada w przybliżeniu analogicznej wartości wyznaczonej w teście histerezy.

Stwierdzono, że dla badanego materiału optymalnym jest określenie umownej granicy sprężystości na poziomie  $\varepsilon_i = 0,05\%$ .

Obciążenia cykliczne w zakresie  $N_c = 1 \div 10$  wywołują w badanych materiałach statystycznie istotne przyrosty sprężystości. Przyrosty te wzrastają w miarę zwiększania obciążenia, co może wskazywać na podatność tego typu materiału konstrukcyjnego na pozorne umacnianie.

## Bibliografia

- Bohdziewicz J.** 2007. Modelowanie przebiegu odkształceń tkanek parenchymy warzyw w warunkach quasi-statycznych zmian obciążeń. Rozprawa habilitacyjna. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Nr 557. ISSN 1897-208X, ISSN 1897-4732.
- Brzowska-Bakalarz M.** 1986. Badania właściwości mechanicznych korzeni buraków cukrowych – statyczna próba ściskania. Roczniki Nauk Rolniczych. 76-C-2. s. 3-46.
- Danecki L.** 2006. Możliwości wykorzystania słomy w produkcji płyt pilśniowych. Biuletyn Informacyjny OBRPPD 1-2. Maszynopis.
- Moś D., Czachor G.** 2007. Właściwości wytrzymałościowe kompozytu pilśniowo-słomowego. Sbornik z mezinardni konferencje doktorandu. Moderzace vysokoskolske vyuky technickyh predmetu. Hradec Kralove. s. 118-122.
- Piotrkowski Z., Strykowski W.** 2002. Niektóre nowoczesne materiały drewnopochodne produkowane w Ameryce Płn i Europie. Przemysł Drzewny (53), 02. s. 5-10.

Encyklopedia. 2008. Tom 17. Agora S.A. ISDN 83-89651-92-1.

PN – EN 310: 1994. Płyty drewnopochodne. Oznaczenie modułu sprężystości przy zginaniu i wytrzymałości na zginanie

PN – 79/D - 04231. Płyty pilśniowe. Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie w kierunku równoległym do płaszczyzny płyty.

PN – 59/D - 04118. Fizyczne i mechaniczne właściwości drewna. Oznaczenie współczynnika sprężystości przy rozciąganiu wzdłuż włókien

PN – EN 622 - 3: 2001. Płyty pilśniowe. Wymagania techniczne. Cz. 3. Wymagania dla płyt pilśniowych półtwardych

PN – EN 316: 2001. Płyty pilśniowe. Definicja, klasyfikacja i symbole

## ELASTICITY OF FIBREBOARDS MADE OF WOOD AND OF RYE STRAW

**Abstract.** The researchers compared the elasticity of fibreboards made of wood and of rye straw. Characteristics describing dependencies of relative changes in the values of conventional elasticity limit in function of boundary strain value were determined. Moreover, changes in elasticity coefficient values in function of load level were specified. It has been observed that for both fibreboard material types progress of analysed characteristics is similar, which confirms that it is justified to use straw as wood substitute. It has been also found that it is optimal for these fibreboard material types to set conventional elasticity limit at the level of  $\epsilon_i = 0.05\%$ .

**Key words:** fibreboards, straw, elasticity

**Adres do korespondencji:**

Gabriel Czachor; e-mail: gabriel.czachor@up.wroc.pl

Instytut Inżynierii Rolniczej

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

ul. Chełmińskiego 37/41

51-630 Wrocław