

## WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE ZIARNA POLSKIEJ PSZENICY TWARDEJ\*

Adam Figiel

*Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

Radosław Spychaj, Zygmunt Gil

*Katedra Technologii Owoców, Warzyw i Zbóż, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

Jarosław Bojarczuk

*Hodowla Roślin Smolice, Grupa IHAR*

**Streszczenie.** Celem pracy było wyznaczenie wpływu właściwości chemicznych i fizycznych na cechy mechaniczne ziarna nowych rodów i linii ozimej pszenicy twardej. Ziarno o większej gęstości, masie, zawartości białka i glutenu oraz mniejszej zawartości skrobi generalnie charakteryzowało się większą szklistością, a tym samym większą wytrzymałością na ściskanie i mniejszą wytrzymałością na przecinanie. Stwierdzono, że obniżenie energochłonności rozdrabniania ziarna pszenicy twardej o wysokiej szklistości można osiągnąć stosując w urządzeniach mielących elementy robocze o geometrii wymuszającej pojawienie się sił tnących.

**Słowa kluczowe:** ziarno pszenicy, właściwości fizyczne, skład chemiczny, wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na przecinanie

### Wprowadzenie

Podstawowym surowcem w produkcji makaronu jest semolina, uzyskiwana z ziarna pszenicy twardej *Triticum durum*. Import tego surowca wynoszący od 50 do 150 tysięcy ton rocznie wpływa negatywnie na cenę makaronu [Rachoń 2001]. W związku z tym wzrasta zainteresowanie uprawą pszenicy twardej w Polsce. Okazuje się, że próby wprowadzenia odmian hodowli zagranicznych nie przyniosły spodziewanych rezultatów [Bojarczuk 2006]. Dlatego prowadzone są prace hodowlane zmierzające do doskonalenia rodzimych linii i rodów pszenicy twardej. W rezultacie tych prac ulegają zmianie właściwości chemiczne i fizyczne ziarna takie jak: zawartość białka i glutenu, masa tysiąca ziaren, gęstość w stanie zsypanym oraz szklistość [Segit, Szwed-Urbaś 2009]. Właściwości te wpływając na jakość technologiczną ziarna mogą także kształtować jego cechy mechaniczne. Cechy mechaniczne z jednej strony decydują o podatności ziarniaków na uszkodzenia podczas siewu, zbioru i transportu [Gieroba, Dreszer 1993], zaś z drugiej strony kształtują energo-

---

\* Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010–2013 jako projekt badawczy Nr N312 335539.

chłonność procesu rozdrabniania zmierzającego do otrzymania mąki [Dziki, Laskowski 2005]. Właściwości mechaniczne ziarna są najczęściej wyznaczane na podstawie testów wytrzymałości na ściskanie lub przecinanie. Takie testy odnoszą się do procesów, które zachodzą podczas operacji technologicznych dotyczących ziarna i na ogół nie stwarzają trudności metodycznych. Optymalne projektowanie urządzeń i sterowanie procesami technologicznymi wymaga wyjaśnienia związku między wytrzymałością ziarna na ściskanie i przecinanie w powiązaniu z jego właściwościami kształtowanymi w wyniku prac hodowlanych.

## Cel pracy

Celem pracy było wyznaczenie wpływu właściwości chemicznych i fizycznych na cechy mechaniczne ziarna nowych rodów i linii ozimej pszenicy twardej oraz uwzględnienie związku między wynikami testu wytrzymałości na ściskanie i przecinanie.

## Metodyka badań

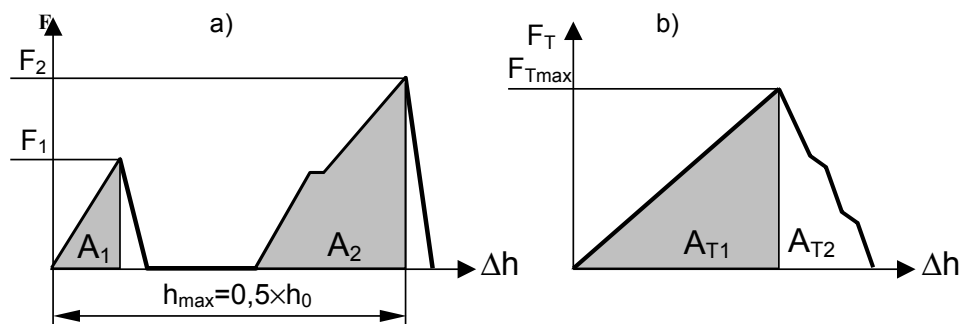
Materiałem badawczym było ziarno pięciu linii ozimej pszenicy twardej uzyskane w ramach prac hodowlanych w Hodowli Roślin Smolice (Grupa IHAR). Zebrane ziarno po umieszczeniu w płóciennych workach było przechowywane w temperaturze pokojowej w suchym pomieszczeniu w celu wyrównania wilgotności, która ma istotny wpływ na właściwości mechaniczne [Figiel, Frontczak 2001].

Badanie właściwości fizycznych sprowadzało się do wyznaczenia masy tysiąca ziaren MTZ [Jakubczyk, Haber 1983], gęstości ziarna w stanie zsypanym [PN-ISO 7971-2:1998]. Oznaczenie szklistości ziarna polegało na wyznaczeniu procentowego udziału masy ziaren szklistych po dokonaniu wizualnej oceny struktury bielma przekrojonych ziarniaków [PN-EN 15585:2008]. Ocena właściwości chemicznych polegała na wyznaczeniu zawartości białka ogółem [PN-75/A-04018:1975], skrobi [Jakubczyk, Haber 1983] oraz glutenu [PN-77/A74041:1977].

Testy wytrzymałościowe przeprowadzono przy użyciu maszyny Instron 5544 wyposażonej w głowicę tensometryczną o zakresie pomiarowym do 2 kN, która w trakcie pomiaru przemieszczała się z prędkością 6 mm·min<sup>-1</sup>. Test wytrzymałości na ściskanie polegał na deformowaniu pojedynczych ziarniaków między dwiema równoległymi płytami. Proces ściskania trwał do momentu uzyskania odkształcenia  $h_{max}$  wynoszącego 50% wysokości ziarniaka  $h_0$  ułożonego bruzdką ku dołowi. Na rysunku 1a) przedstawiono krzywą ściskania pojedynczego ziarniaka pszenicy złożoną z dwóch faz. W pierwszej fazie następowało pęknięcie ziarniaka wzdłuż bruzdki pod wpływem siły  $F_1$  po wykonaniu pracy  $A_1$ . Dalszemu przemieszczaniu głowicy towarzyszyło osuwanie się pękniętych fragmentów bez ich deformowania. Druga faza ściskania polegała na deformacji pękniętych fragmentów ziarniaka do momentu zakończenia testu, w którym zarejestrowano wartość siły  $F_2$  i pracy  $A_2$ . Całkowita praca ściskania  $A_C$  była sumą prac  $A_1$  oraz  $A_2$ .

Przecinanie ziarniaków odbywało się w połowie ich długości przy użyciu specjalnego noża wyposażonego w dwie krawędzie tnące tworzące kąt 60°. Krzywa przecinania

(rys. 1b) pozwoliła wyznaczyć maksymalną wartość siły tnącej  $F_{Tmax}$  w chwili zainicjowania pęknięcia ziarniaka po wykonaniu pracy  $A_{T1}$  oraz wartość pracy docinania  $A_{T2}$  potrzebnej do ostatecznego oddzielenia przeciętych fragmentów ziarniaka. Całkowita praca przecinania  $A_T$  była sumą prac  $A_{T1}$  oraz  $A_{T2}$ .



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Krzywa ściskania a) oraz przecinania b) pojedynczego ziarniaka pszenicy  
 Fig. 1. Curve of compression a) and cutting b) of a single wheat caryopsis

## Analiza wyników badań

Właściwości chemiczne i fizyczne ziarna badanych linii przedstawiono w tabeli 1, a ich parametry mechaniczne wyznaczone w testach ściskania i przecinania zawarto w tabeli 2.

Dane dotyczące poszczególnych linii hodowlanych umieszczono w tabelach biorąc pod uwagę wzrost ich szklistości, ponieważ analiza wyników przeprowadzonych badań pozwoliła stwierdzić, że parametr ten miał jednoznaczny wpływ na parametry mechaniczne ziarna.

Tabela 1. Właściwości chemiczne i fizyczne ziarna pszenicy twardej  
 Table 1. Chemical and physical properties of durum wheat caryopsis

Linie hodowlane	MTZ [g]	Gęstość [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	Szklistość [%]	Białko [%]	Gluten [%]	Skrobia [%]
129-4Rn-1	39,58±1,12	81,18±0,35	81,33±4,04	11,88±0	28,38±0,31	67,97±0,91
213-R-2	47,10±1,17	81,52±0,12	84,67±2,31	11,02±0,12	28,24±0	69,31±0,14
263-R-1	43,64±1,4	85,55±0,4	92,33±1,53	11,71±0,12	30,8±0,85	67,08±0,35
274-R-2	45,66±3,27	84,75±0,2	94±2	11,88±0	30,66±0,48	67,57±0,91
174-2R-2	45,36±0,99	85,35±0,2	96,33±1,53	11,83±0,06	32,20±0,91	67,13±0

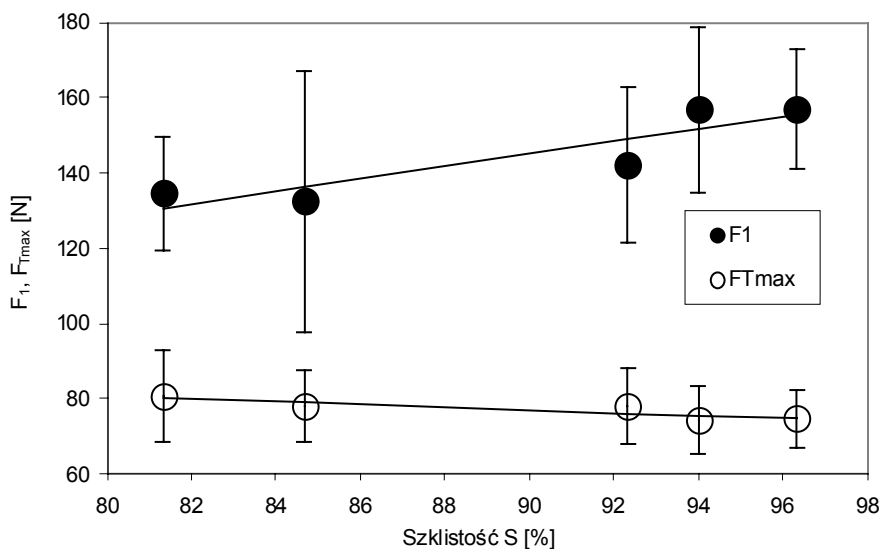
Źródło: obliczenia własne

Tabela 2. Parametry mechaniczne ziarniaków pszenicy twardej  
 Table 2. Mechanical properties of durum wheat caryopsis

Linie hodowlane	$F_1$ [N]	$A_1$ [mJ]	$F_2$ [N]	$A_c$ [mJ]	$F_{Tmax}$ [N]	$A_{T1}$ [mJ]	$A_T$ [mJ]
129-4Rn-1	134,7±15,1	20,92±5,1	536,8±73	241,1±52,4	80,79±12,13	12,20±3,17	45,2±11,63
213-R-2	132,5±34,6	33,76±25,2	591,7±133,5	308,6±91	78,21±9,43	13,83±2,37	39,84±7,53
263-R-1	142,1±20,7	20,4±8	694,5±102	358±62	78,11±10,24	12,17±2,88	35,3±8,62
274-R-2	156,8±21,8	19,2±3,58	680,2±122	348,2±87,6	74,36±9,13	12,1±3,02	32,6±10,05
174-2R-2	157±16	21,42±4,02	660,9±119,7	348,9±100	74,71±7,69	11,61±2,24	30,76±6,05

Źródło: obliczenia własne

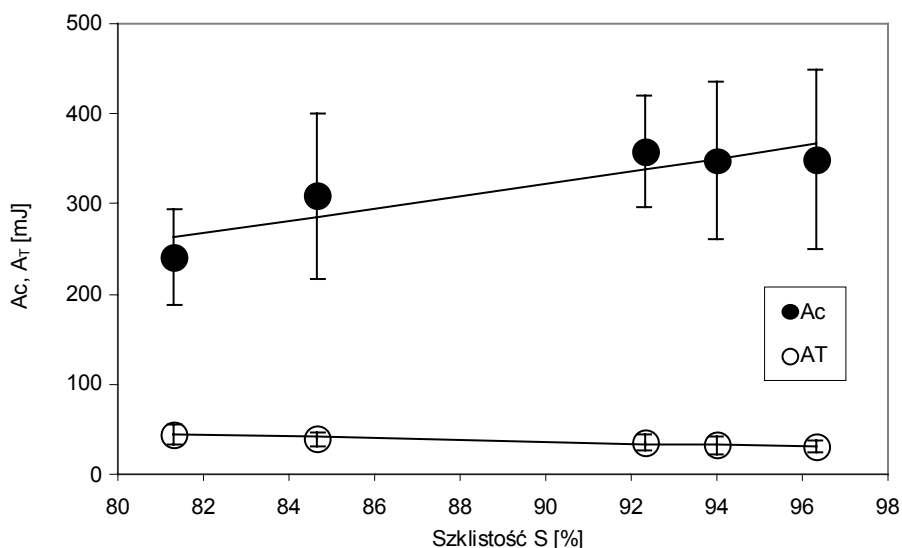
Mianowicie, wraz ze wzrostem szklistości ziarniaków w zakresie od 81,33 do 96,33% następował wzrost wartości siły ściskającej  $F_1$  powodującej ich pęknięcie od 134,7 do 157 N przy jednoczesnym spadku wartości maksymalnej siły tnącej  $F_{Tmax}$  od 80,79 do 74,71 N (rys. 2). Wzrost szklistości ziarniaków przyczynił się także do zwiększenia całkowitej pracy ściskania  $A_c$  od 241,1 do 348,9 mJ przy jednoczesnym zmniejszeniu całkowitej pracy przecinania  $A_T$  od 45,2 do 30,76 mJ (rys. 3). Powyższe zależności przedstawiono przy użyciu funkcji liniowej przy zadawalających współczynnikach determinacji  $R^2$  i względnie niskim pierwiastku błędów średniokwadratowego RMSE (tab. 3).



Źródło: obliczenia własne

Rys. 2. Wpływ szklistości na wartość siły ściskającej w momencie pęknięcia  $F_1$  oraz maksymalnej siły tnącej  $F_{Tmax}$

Fig. 2. Influence of vitreosity on the compressive strength value in the moment of cracking  $F_1$  and maximal cutting force  $F_{Tmax}$



Źródło: obliczenia własne

Rys. 3. Wpływ szklistości na wartość całkowitej pracy ściskania  $A_C$  oraz całkowitej pracy przecinania  $A_T$

Fig. 3. Influence of vitreosity on the total compression work value  $A_C$  and total cutting work  $A_T$

Tabela 3. Wartości współczynników  $a$  oraz  $b$  funkcji opisujących wpływ szklistości  $S$  na parametry mechaniczne wyznaczone w teście ściskania ( $F_1$ ,  $A_C$ ) oraz przecinania ( $F_{Tmax}$ ,  $A_T$ ) pojedynczych ziarniaków pszenicy twardej.  $R^2$  – współczynnik determinacji, RMSE – pierwiastek błędu średniokwadratowego

Table 3. Values of coefficients  $a$  and  $b$  of functions describing the influence of vitreosity  $S$  on mechanical properties determined in the compression test ( $F_1$ ,  $A_C$ ) and cutting test ( $F_{Tmax}$ ,  $A_T$ ) of single durum wheat caryopses.  $R^2$  – determination coefficient, RMSE – mean square error root

Parametr mechaniczny	Współczynniki funkcji: Parametr mechaniczny = $a \cdot S + b$			
	a	b	$R^2$	RMSE
$F_1$	1,649	-3,344	0,8099	5,921
$F_{Tmax}$	-0,3732	110,7	0,791	1,422
$A_C$	6,857	-294,3	0,8227	23,59
$A_T$	-0,8959	117,1	0,9718	1,131

Źródło: obliczenia własne

Przedstawione wyniki świadczą o tym, że zwarta struktura charakteryzująca ziarniaki szkliste [Turnbull, Rahman 2002] zwiększając wytrzymałość na ściskanie przyczynia się do zmniejszenia wytrzymałości na przecinanie. Można przypuszczać, że większe uporządkowanie ziaren endospermy spojonych siłami adhezji [Delennea 2008] sprzyja zachowaniu ciągłości struktury podczas ściskania ziarniaka pszenicy przy użyciu płaskiej płyty i jednocześnie ułatwia propagację pęknięć w wyniku penetracji ostrza noża podczas przecinania.

Poza tym, należy zauważyć, że przy największej szklistości wynoszącej 96,33% wartości siły ściskającej w momencie pęknięcia  $F_1$  oraz całkowitej pracy ściskania  $A_C$  w porównaniu z maksymalną siłą tnącą  $F_{Tmax}$  i całkowitą pracą przecinania  $A_T$  są większe o odpowiednio 3,5 i 11 razy. Mniejsza wartość siły tnącej w porównaniu z siłą ściskającą w momencie pęknięcia jest związana z powierzchnią oddziaływania zastosowanych próbników na ziarno. Otóż, powierzchnia kontaktu ziarniaka z ostrzem noża jest mniejsza niż z płytą ściskającą, co powoduje, że osiągnięcie naprężenia niszczącego wymaga mniejszej wartości siły tnącej w porównaniu z siłą ściskającą.

Wyniki uzyskane w teście ściskania znalazły potwierdzenie w badaniach Laskowskiego i Różyło [2003] dotyczących energochłonności rozdrabniania ziarna pszenicy przy użyciu rozdrabniacza bijakowego. Otóż wzrost szklistości ziarna od 15 do 89% wiązał się ze zwiększeniem energii jednostkowej rozdrabniania od 74 do 124 J·g<sup>-1</sup>. Również Wiercioch i Niemiec [2006] wykorzystując śrutownik walcowy stwierdzili, że wzrost szklistości ziarna pszenicy w przedziale od 29 do 83% powoduje zwiększenie zużycia energii jednostkowej o 60%. W rozdrabniaczu bijakowym dezintegracja ziarna następuje głównie pod wpływem obciążeń udarowych, a w śrutowniku walcowym w rezultacie zgniatania. Pomijając dynamikę obciążenia można przyjąć, że w obu przypadkach oddziaływanie na ziarno jest podobne do tego, które występuje podczas testu ściskania. Wyniki testu wytrzymałości na przecinanie pozwalają przypuszczać, że zastosowanie w urządzeniu mielącym elementów, których geometria wymusza pojawienie się sił tnących powinno sprzyjać obniżeniu energochłonności rozdrabniania ziarna o wysokiej szklistości. Jednak takie przypuszczenie wymaga weryfikacji przez przeprowadzenie specjalnych badań, w których istnieje możliwość modyfikacji rozwiązań konstrukcyjnych urządzenia rozdrabniającego. Wyniki badań pozwalają także stwierdzić, że podczas operacji technologicznych nie związanych z rozdrabnianiem należy unikać takich rozwiązań, które narażają ziarno, zwłaszcza o dużej szklistości, na obciążenia powodujące wzrost udziału naprężeń tnących.

Wpływ pozostałych właściwości ziarna badanych linii na właściwości mechaniczne nie był już tak jednoznaczny, ponieważ w większości przypadków nie udało się uzyskać zadawalających wartości współczynnika korelacji. Niemniej jednak stwierdzono, że ziarno o większej gęstości, MTZ, zawartości białka i glutenu oraz mniejszej zawartości skrobi na ogół charakteryzowało się większą szklistością i tym samym większą wytrzymałością na ściskanie i mniejszą wytrzymałością na przecinanie.

## Wnioski

1. Wzrost szklistości ziarna pszenicy twardej powoduje liniowy wzrost siły niszczącej i całkowitej pracy ściskania oraz liniowy spadek maksymalnej siły tnącej i pracy przecinania pojedynczych ziarniaków.

2. Ziarno pszenicy twardej o większej gęstości, MTZ, zawartości białka i glutenu oraz mniejszej zawartości skrobi na ogół charakteryzuje się większą szklistością, a tym samym większą wytrzymałością na ściskanie oraz mniejszą wytrzymałością na przecinanie.
3. W celu obniżenia energochłonności rozdrabniania ziarna pszenicy twardej o wysokiej szklistości należy rozważyć zastosowanie w urządzeniach mielących elementów roboczych, których geometria wymusza pojawienie się sił tnących. Jednocześnie podczas innych operacji technologicznych należy unikać takich rozwiązań, które narażają ziarno na obciążenia powodujące nadmierne naprężenia tnące.

## Bibliografia

- Bojarczuk J.** 2006. Genetyczno-metodyczne badania nad podstawami hodowli odmian pszenicy twardej ozimej w warunkach klimatycznych Polski. Praca doktorska. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu. Maszynopis.
- Delenne J.Y., Haddada Y., Be´neta J.C., Abecassis J.** 2008. Use of mechanics of cohesive granular media for analysis of hardness and vitreousness of wheat endosperm. *Journal of Cereal Science*. Nr 47. s. 438-444.
- Dziki D., Laskowski J.** 2005. Wheat kernel physical properties and milling process. *Acta Agrophysica*. Nr 6. s. 59-71.
- Figiel A., Frontczak J.** 2001. Wpływ wilgotności na opory i pracę przecinania nasion wybranych roślin. *Acta Agrophysica*. Nr 46. s. 63-72.
- Gieroba J., Dreszer K.** 1993. An analysis of the reason for mechanical grain damage in working sets of agricultural machines. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Nr 399. s. 69-76.
- Jakubczyk T., Haber T.** 1983. Analiza zbóż i przetworów zbożowych. Skrypt SGGW. Warszawa. ISBN 83-00-01849-2.
- Laskowski J., Różyło R.** 2003. Wpływ zawartości glutenu i szklistości na energochłonność rozdrabniania ziarna pszenicy. *Acta Agrophysica*. Nr 2(3). s. 589-596.
- Rachoń L.** 2001. Studia nad plonowaniem i jakością pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.). Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie. Lublin. ISSN 0860-4355.
- Segit Z., Szwed-Urbaś K.** 2009. Ocena struktury plonu i wartości technologicznej ziarna 6 linii pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.). *Annales Universitatis Mariae Curie - Skłodowska Lublin - Polonia*. Vol. LXIV (3) Sectio E. s. 120-128.
- Turnbull K. M., Rahman S.** 2002. Endosperm texture in wheat. *Journal of Cereal Science*. Nr. 36. s. 327-337.
- Wiercioch M., Niemiec A.** 2006. Energochłonność procesu rozdrabniania pszenicy ozimej o różnej szklistości przy stosowaniu gniotownika i śrutownika walcowego. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11 (86). s. 511-518.
- PN-ISO 7971-2:** 1998. Ziarno zbóż - Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym, zwanej "masą hektolitrową" - Metoda rutynowa.
- PN-EN 15585:** 2008. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe – Pszenica durum (*T. durum* Desf.)- Oznaczanie procentowego udziału ziaren, które utraciły szklistość i obliczanie procentowego udziału ziaren szklistych.
- PN-75/A-04018:** 1975. Produkty rolniczo-żywnościowe – Oznaczanie azotu metodą Kjeldahla i przeliczanie na białko.
- PN-77/A74041:** 1977. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczenie ilości i jakości glutenu.

## **MECHANICAL PROPERTIES OF POLISH DURUM WHEAT SEEDS**

**Abstract.** The purpose of the study was to determine the influence of chemical and physical properties on mechanical properties of seeds of new stocks and lines of winter durum wheat. A seed of greater density, mass, protein and gluten content and lower starch content was generally characterised by higher vitreosity and higher compressive strength at the same time and lower cutting strength. It was determined that lowering energy consumption and grinding durum wheat seed of high vitreosity may be obtained by using working elements of geometry that forces cutting forces to appear in milling devices.

**Key words:** wheat seed, physical properties, chemical composition, compressive strength, cutting strength

**Adres do korespondencji:**

Adam Figiel; e-mail: adam.figiel@up.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chelmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław