

MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA POMIARU PRĘDKOŚCI FAL AKUSTYCZNYCH DO WYZNACZANIA PARAMETRÓW SPRĘŻYSTOŚCI MATERIAŁÓW SYPKICH

Mateusz Stasiak, Marek Molenda, Mirosław J. Lipiński

Streszczenie. Wartości modułu sprężystości E złoza nasion pszenicy i rzepaku wyznaczono metodą znaną w geotechnice. Polega ona na obliczeniu jego wartości na podstawie prędkości poprzecznych fal akustycznych. Testy przeprowadzono dla kondycjonalnej wilgotności złoź nasion. Wartości modułu sprężystości otrzymane dla pszenicy w zakresie od 23,6 do 88,1 MPa oraz otrzymane dla rzepaku (od 26,3 do 67,0 MPa) zależały od ciśnienia hydrostatycznego i były wyższe od otrzymanych w wyniku testów jednoosiowego ściskania.

Słowa kluczowe: rzepak, pszenica, parametry sprężystości, prędkość fal poprzecznej

WSTĘP

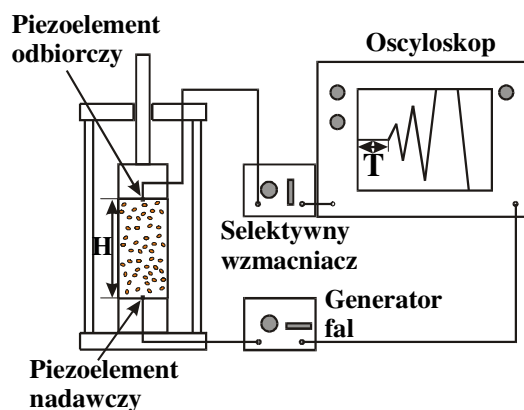
Przemysł rolniczy i spożywczy w dużej mierze przetwarzają materiały sypkie, które występują zarówno jako surowiec (np.: zboża, nasiona), jak i produkt (np.: cukier, mąki, kasze, śrutę). W przemyśle rolno-spożywczym materiały te poddawane są licznym operacjom technologicznym, a to z kolei powoduje potrzebę badania ich właściwości. Precyzyjna wiedza o reakcji materiału na obciążenia mechaniczne złoza występujące w czasie zbioru, przechowywania, transportu, dozowania czy przetwarzania jest niezbędnym elementem optymalizacji procesu oraz projektowania urządzeń biorących udział w ciągach technologicznych. Złożone reakcje mechaniczne złoź biologicznych materiałów sypkich wynikają zarówno z ich trójfazowej budowy, struktury geometrycznej, jak i właściwości sprężysto-plastycznych pojedynczych ziaren. Bliższe poznanie reakcji złoza na obciążenie pozwoli lepiej przewidywać jego zachowanie w projektowanych procesach technologicznych. Dzięki temu można uniknąć strat, które podnoszą koszty lub też obniżają jakość produktu końcowego.

CEL BADAŃ

Na obecnym etapie rozwoju technik pomiarowych oraz dużego postępu standaryzacji procedur pomiarowych poszukuje się optymalnych rozwiązań badań właściwości sypkich materiałów rolniczych. Podejmuje się próby zastosowania metod stosowanych przez współczesną technikę, ale również adaptuje się sprawdzone metody z innych działów mechaniki [Sawicki 1994, Lipiński 2000, Eurocode 1, PN-89/B-03262, Dyduch i in. 2000]. W prezentowanych badaniach do określenia stałych sprężystości złoża materiału sypkiego zastosowano metodę wyznaczania prędkości fal akustycznych w próbce materiału, poddanej ciśnieniu hydrostatycznemu. Metoda ta wykorzystywana jest w mechanice gruntów [Lipiński 2000] jednak dotychczas nie stosowano jej do wyznaczania właściwości biologicznych materiałów sypkich.

MATERIAŁ I METODA

Metody pomiaru prędkości rozchodzenia się fal akustycznych stosowane są w geotechnice do celów eksploracyjnych od początku lat sześćdziesiątych. Zastosowanie przetwornika piezoelektrycznego typu *bender* umożliwiło znaczny rozwój zastosowań [Lipiński 2000], gdyż zaistniała możliwość wyznaczenia prędkości fal poprzecznych, dająca szersze możliwości interpretacyjne poprzez związki z parametrami materiałowymi.



Rys. 1. Schemat stanowiska do pomiaru prędkości poprzecznych fal akustycznych
 Fig. 2. Experimental set constructed to determine shear wave velocity

Drgania wywołane przez fale akustyczne w próbce materiału mają bardzo niewielką amplitudę odkształcenia rzędu 10^{-6} – 10^{-5} m. Odpowiada to zakresowi odkształceń sprężystych złoża materiału. Dzięki temu, stosując zależności prędkości rozchodzenia się fali akustycznej od gęstości w sprężystym ośrodku izotropowym, można wyznaczyć moduł odkształcenia postaciowego, a następnie moduł sprężystości zależny od gęstości,

prędkości fali poprzecznej oraz współczynnika Poissona materiału [Fung 1969, Timoshenko i Goodier 1970, Jastrzębski i in. 1985]:

$$E = 2 \cdot \rho \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu) \quad (1)$$

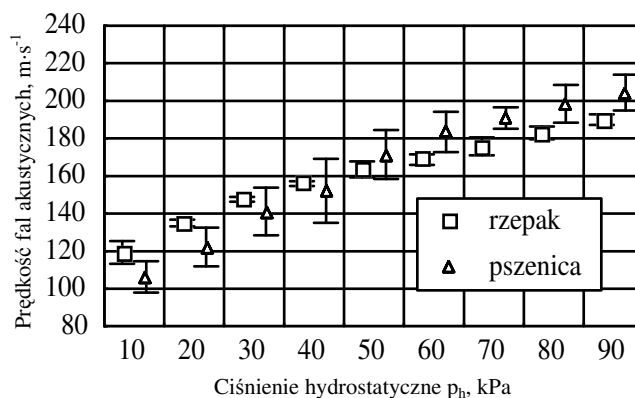
gdzie: E – moduł sprężystości, MPa, ρ – gęstość objętościowa, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, V_s – prędkość fali poprzecznej, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, ν – współczynnik Poissona.

Badania złoza ziarna pszenicy i nasion rzepaku o wilgotności kondycjonalnej przeprowadzono w komorze hydrostatycznego ściskania z możliwością generowania i rejestracji fal akustycznych dzięki czujnikom piezoelektrycznym umiejscowionym w podstawie i kopułce aparatu (zakres częstotliwości od 1 do 10 kHz) (rys. 1).

Generator równocześnie wysyła sygnał do piezoelementu i bezpośrednio do oscyloskopu tak, że można dokładnie określić czas, po jakim sygnał dociera do elementu odbiorczego. W ten sposób można wyznaczyć prędkość propagacji fal akustycznych, która zależy od właściwości sprężystych złoza. Badania przeprowadzono w przedziale ciśnienia hydrostatycznego od 10 do 90 kPa zwiększanego co 10 kPa. W każdym przypadku średnica początkowa próbki wynosiła 70 mm, a wysokość 150 mm. W czasie eksperymentu mierzono zmieniającą się w trakcie zwiększania ciśnienia wysokość próbki. Częstotliwość poprzecznych fal akustycznych wynosiła 4 kHz.

WYNIKI

Stwierdzono, że prędkość fali akustycznej zależy od ciśnienia hydrostatycznego wywieranego na próbkę materiału i zwiększa się w miarę jego wzrostu. Wyznaczone prędkości fal akustycznych zawierały się dla pszenicy w przedziale od $106 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ przy ciśnieniu 10 kPa do $204 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ przy 90 kPa, natomiast dla rzepaku odpowiednio od 119 do $190 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (rys. 2).



Rys. 2. Przebieg zależności prędkości fal akustycznych od ciśnienia hydrostatycznego otrzymany dla złoza ziarna pszenicy i rzepaku

Fig. 2. Relationship between hydrostatic pressure and shear wave velocity determined for wheat and rapeseed

Tabela 1. Wartości modułu sprężystości rzepaku i pszenicy
 Table 1. Modulus of elasticity of rapeseed and wheat determined in experiments

Ciśnienie hydrostatyczne p_h Hydrostatic pressure p_h kPa	E obliczone dla $\nu = 0,2$ E evaluated for $\nu = 0,2$ MPa	E obliczone dla $\nu = 0,4$ E evaluated for $\nu = 0,4$ MPa
Rzepak – Rapeseed		
10	22,6 ± 1,9	26,4 ± 2,2
20	28,9 ± 0,9	33,8 ± 1,1
30	34,6 ± 0,6	40,4 ± 0,7
40	38,7 ± 0,5	45,1 ± 0,5
50	42,5 ± 1,3	49,6 ± 1,6
60	45,4 ± 1,6	53,0 ± 1,8
70	49,4 ± 1,8	57,6 ± 2,1
80	53,5 ± 0,7	62,4 ± 0,9
90	57,5 ± 1,0	67,1 ± 1,2
Pszenica – Wheat		
10	20,2 ± 3,3	23,6 ± 3,8
20	26,8 ± 4,6	31,3 ± 5,4
30	35,8 ± 6,5	41,8 ± 7,5
40	41,8 ± 9,4	48,8 ± 11,0
50	52,9 ± 8,5	61,8 ± 9,9
60	60,6 ± 7,2	70,7 ± 8,4
70	65,6 ± 4,2	76,5 ± 5,0
80	71,1 ± 7,6	82,9 ± 8,9
90	75,4 ± 7,4	88,0 ± 8,6

Zakresy otrzymanych wartości modułu sprężystości dla pszenicy zmieniały się w szerszym zakresie niż dla rzepaku. Moduł sprężystości zmieniał się w zakresie od 23,6 do 88,1 MPa dla złoża pszenicy odpowiednio przy minimalnym i maksymalnym ciśnieniu oraz od 26,3 do 67,0 MPa dla złoża rzepaku (tab. 1). Wartości modułu sprężystości są wyższe od otrzymanych z badań edometrycznych przeprowadzonych dla złoża pszenicy o wilgotności od 10 do 20% i rzepaku od 6 do 16% [Molenda i Stasiak 2001]. Otrzymane wówczas wartości maleją wraz ze wzrostem wilgotności i zawierają się dla pszenicy w zakresie od 11,1 MPa dla wilgotności 20% do 22,4 MPa dla wilgotności 10% i odpowiednio od 6,6 do 9,0 MPa dla rzepaku. Różnice te wynikają z zakresu odkształceń, który dla fal akustycznych w próbce materiału wynosi 10^{-6} – 10^{-5} m, podczas gdy w badaniach jednoosiowego ściskania odkształcenia sięga 12% wysokości próbki.

WNIOSKI

1. Metoda przyjęta w badaniach nadaje się do wyznaczania właściwości mechanicznych rzepaku i pszenicy, daje możliwość wyznaczenia stałych materiałowych w szerokim zakresie ciśnienia, w różnych stanach naprężenia oraz w zakresie niewielkich odkształceń względnych próbki (do ok. 2%).

2. Prędkość fal akustycznych w próbkach rzepaku i pszenicy zależy od wartości ciśnienia hydrostatycznego.

3. W wyniku przyjętego zakresu odkształcenia wartości modułu sprężystości są wyższe od otrzymanych w wyniku badań edometrycznych.

PIŚMIENNICTWO

- Dyduch M., Kamiński M., Łapko A., Runkiewicz L., 2000. Nowelizacja normy PN-89/B-03262 „Żelbetowe zbiorniki na materiały sypkie i kiszonki. Obliczenia statyczne i projektowanie”. Mat. Konf. „Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i ciecze”, 65–69, Świeradów Zdrój.
- Eurocode 1, 1996. Basis of design and actions on structures. Part 4. Actions in silos and tanks. DDENV 1991-4.
- Fung Y. C., 1969. Podstawy mechaniki ciała stałego. PWN Warszawa.
- Jastrzębski P., Mutermilch J., Orłowski W., 1985. Wytrzymałość materiałów. Arkady Warszawa.
- Lipiński M. J.: Laboratoryjne pomiary prędkości fal akustycznych dla określenia parametrów geotechnicznych. Maszynopis.
- Molenda M., Stasiak M., 2001. Zastosowanie testu jednoosiowego ściskania do wyznaczania właściwości mechanicznych złoża ziarna zbóż. Inż. Roln. 13(33), 307–312, Warszawa.
- PN-89/B-03262. Zbiorniki żelbetowe na materiały sypkie i kiszonki. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- Sawicki A., 1994. Elasto-plastic interpretation of oedometric test. Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics 41 (1–2), 111–131.
- Timoshenko S. P., Goodier J. N., 1970. Theory of elasticity. Tokyo.

POSSIBILITY OF DETERMINATION ELASTIC PARAMETERS OF GRANULAR MATERIALS BASED ON MEASUREMENT OF SHEAR WAVE VELOCITY

Abstract: Values of modulus of elasticity E of wheat and rapeseed beds were determined with method adopted from geotechnique and based on measurement of shear wave velocity. Tests were performed for bedding of wheat and rapeseed under equilibrium moisture content. Values of modulus of elasticity for wheat obtained in a range from 23.6 to 88.1 MPa and those for rapeseed (from 26.3 to 67.0 MPa) were found to depend on hydrostatic pressure and were higher than those determined in uniaxial compression test.

Key words: grain, wheat, rapeseed, elastic parameters, shear wave velocity

Mateusz Stasiak, Marek Molenda, Instytut Agrofizyki PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin, e-mail: mstasiak@demeter.ipan.lublin.pl

Miroslaw J. Lipiński, Katedra Geotechniki SGGW, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa