

# APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

## **Badania eksperymentalne i analityczne nad metodą oceny przydatności ślimakowego układu zagęszczającego do brykietowania materiałów roślinnych**

*LEON DEMIANIUK*

**POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY,  
KATEDRA BUDOWY I EKSPLOATACJI MASZYN**

**Słowa kluczowe:** brykiet, materiał roślinny, prasa ślimakowa, parametry pracy

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono metodę szybkiego określania przydatności ślimakowego układu zagęszczającego do brykietowania rozdrobnionych materiałów pochodzenia roślinnego. W tym celu wykorzystano wyniki badań układów zagęszczających tłok – matryca zamknięta, tłok – matryca otwarta oraz przedstawione w niniejszej pracy wyniki badań ślimakowego układu zagęszczającego.

### **Experimental and analytical study on the assessment method of applicability of screw thickening systems for plant material briquetting**

**Keywords:** briquette, plant material, screw briquetting press, working parameters

### **ABSTRACT**

The article presents a method for a quick determination of the chosen screw system applicability for the purpose of briquetting of the particulate plant material. The method is based on the results of the studies on densification systems: piston – closed chamber, piston – open chamber and on the results of screw densification system analysis presented in this article.

## 1. WSTĘP

Od wielu lat produkuje się urządzenia do brykietowania materiałów drobnoziarnistych. Najczęściej, do zagęszczania materiałów pochodzenia roślinnego stosowane są brykietarki posiadające tłokowy układ roboczy z napędem hydraulicznym lub mechanicznym (korbowodowym) oraz układ ślimakowy [1-3].

Na podstawie przeprowadzonych badań [4, 5] można stwierdzić, że jakościowo najlepsze brykiety otrzymuje się w brykietarkach z układem roboczym ślimak – matryca otwarta.

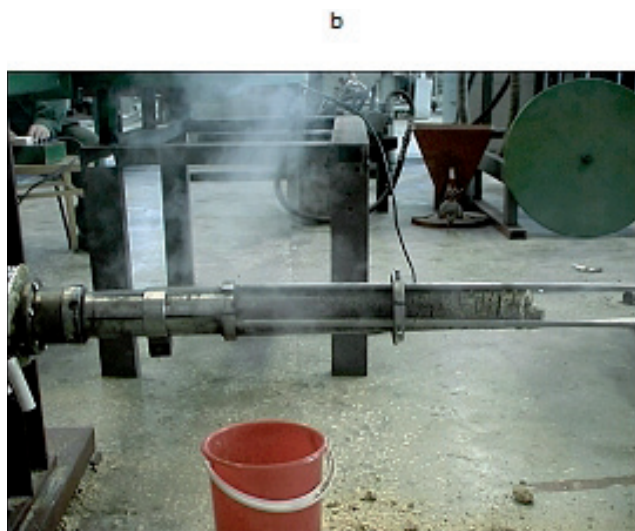
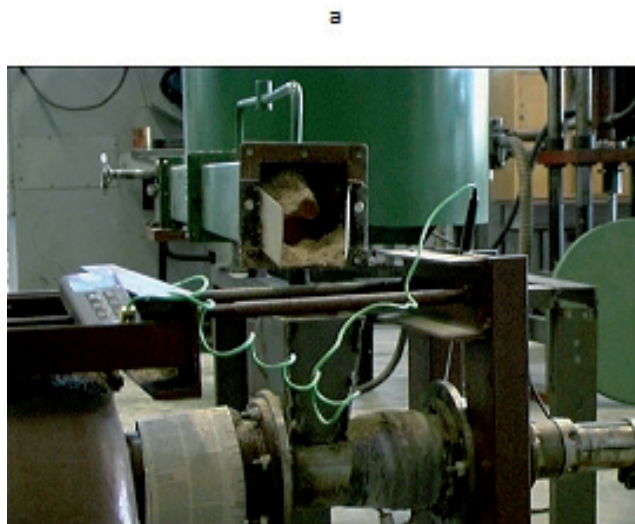
W brykietach otrzymywanych w tłokowym układzie roboczym cząstki materiału układają się równolegle, większymi powierzchniami, pozostawiając puste przestrzenie, które zapełniają się mniejszymi cząstkami. Takie „upakowanie” cząstek powoduje zróżnicowanie gęstości w mikrostrukturze brykietu i wpływa na jego jakość [4]. Na jakość wpływa też efekt „plasterkowania”, czyli zmniejszenie ich wytrzymałości na rozkruszanie na granicy zagęszczanych porcji materiału.

Zagęszczanie w układzie roboczym ślimak – matryca otwarta powoduje dodatkowe rozdrobnienie, wymieszanie i upakowanie materiału roślinnego w miejsca po wyciskanym powietrzu. Taki sposób zagęszczania powoduje „zazębianie się” poszczególnych cząsteczek materiału. Brykiety posiadają jednakową gęstość w całej objętości produktu, nie występuje efekt „plasterkowania” a wytrzymałość na rozkruszanie, na powierzchni bocznej, jest kilka razy większa niż brykietów otrzymywanych w tłokowym układzie roboczym [6].

## 2. STANOWISKO DO BADAŃ SIŁ PODCZAS ZAGĘSZCZANIA MATERIAŁÓW DROBNOZIARNISTYCH W UKŁADZIE ROBOCZYM BRYKIECIARKI ŚLIMAKOWEJ

Badania procesu zagęszczania trocin świerkowych w układzie roboczym ślimak – matryca przeprowadzano na stanowisku laboratoryjnym przedstawionym na zdjęciach (Rys. 1 a, b). Schemat stanowiska ze ślimakowym układem roboczym przedstawiono na Rysunku 2.

W stanowisku wykorzystano motoreduktor o zmiennej prędkości obrotowej w zakresie 31-138 min<sup>-1</sup>. Na wale reduktora 3 zamontowano układ do pomiaru momentu 5 składający się z tensometrów, pierścieni ślizgowych oraz szczotek. Napęd na ślimak zagęszczający 1 przekazywa-



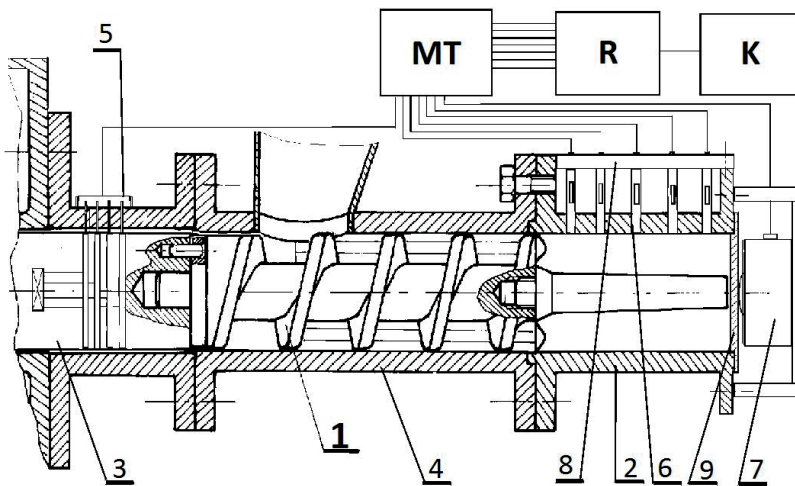
**Rysunek 1** Stanowisko do badań procesu zagęszczania w brykietarce ślimakowej: a) widok stanowiska, b) widok brykietu opuszczającego matrycę

ny był bezpośrednio z wału reduktora. Ślimak obraca się w tulei gardzieli 4.

Na powierzchni wewnętrznej tulei 4 wyfrezowano rowki na długości od końca zasypu do części wyjściowej. Do kołnierza tulei gardzieli 4 przymocowano matrycę pomiarową 2, w której znajdują się otwory na przesuwne tłoczki pomiarowe 6 rozmieszczone na długości matrycy. Tłoczki pomiarowe spasowano suwliwie z otworami matrycy i zablokowano belką oporową 8.

Przedstawione na Rysunku 2 stanowisko zapewniło wykonanie pomiaru następujących sił w matrycy brykietarki ślimakowej:

- nacisków bocznych na zadanej długości matrycy,
- nacisków zagęszczających w określonej odległości od ślimaka zagęszczającego.



**Rysunek 2** Schemat stanowiska do pomiaru nacisków promieniowych, nacisków na dno matrycy prasującej oraz momentu obrotowego brykietarki ślimakowej (wg autora):

- 1 – ślimak zagęszczający,
  - 2 – matryca pomiarowa,
  - 3 – wał motoreduktora,
  - 4 – tuleja gardzieli,
  - 5 – układ pomiarowy momentu,
  - 6 – tłoczki pomiarowe,
  - 7 – czujnik siły z obudową,
  - 8 – belka oporowa tłoczków,
  - 9 – denko matrycy,
- MT – mostek tensometryczny typu Hottinger KWS/6,  
R – rejestrator, K – komputer.

### 3. PRZEBIEG POMIARÓW I WYNIKI BADAŃ

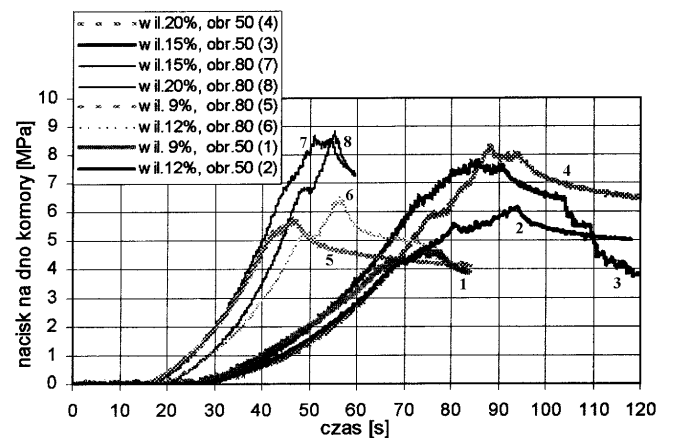
Celem przeprowadzenia pomiarów było uzyskanie wstępnych wyników procesu zagęszczania w układzie ślimakowym, które posłużyły do określenia parametrów techniczno-technologicznych, takich jak: naciski zagęszczające przy wyjściu materiału ze ślimaka, gęstość gotowego produktu (brykietu), długość matrycy itp. Parametry te uzyskano wykorzystując wyniki bardzo pracochłonnych badań zagęszczania materiałów roślinnych w innych układach brykietujących, tj. tłok – matryca zamknięta, tłok – matryca otwarta.

Do pomiaru parametrów wymienionych w punkcie 2 ustalono wstępne założenia badań:

- materiał zagęszczany – trociny świerkowe o granulometrycznym zakresie wymiarowym cząstek 0,5-5 mm,
- wilgotność trocin – 9, 12, 15, 20%,
- prędkość obrotowa ślimaka – 50 i 80 min<sup>-1</sup>,
- matryca – średnica 68 mm, zamknięta na długości 120 mm,
- czas pomiaru – do chwili ustania narastania nacisków (do czasu zakończenia przesuwania się materiału zagęszczanego w gardzieli brykietarki, czyli do czasu wystąpienia zjawiska ścinania),
- temperatura układu zagęszczającego – około 22°C,
- kształt układu roboczego – stały.

#### 3.1 Pomiar nacisków na dno matrycy

Pomiary nacisków na dno matrycy nanoszono na wykresy jako średnie wartości z pięciu prób dla różnych założonych parametrów wstępnych. Wyniki badań przedstawiono na Rysunku 3.



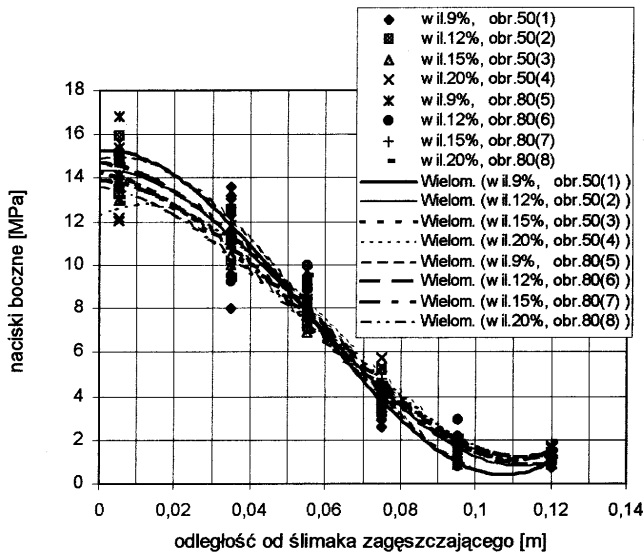
**Rysunek 3** Średnie naciski na dno matrycy zamkniętej brykietarki ślimakowej

Z badań wynika, że prędkość obrotowa ślimaka wpływa na szybkość narastania nacisków na dno matrycy zamkniętej brykietarki ślimakowej.

Naciski na dno matrycy osiągają różne wartości w zależności od wilgotności zagęszczanego materiału. Różnice nacisków, np. przy prędkości obrotowej ślimaka 80 min<sup>-1</sup> i wilgotności trocin 9% (krzywa 5 na Rys. 3) oraz wilgotności trocin 15-20% przy tej samej prędkości obrotowej ślimaka, wynosiły około 4 MPa. Podobne wartości różnicy nacisków, przy różnych wilgotnościach surowca zagęszczanego, otrzymano przy prędkości obrotowej ślimaka zagęszczającego 50 min<sup>-1</sup>.

#### 3.2 Pomiary nacisków bocznych

Wyniki pomiarów nacisków bocznych (promieniowych) w matrycy zamkniętej brykietarki ślimakowej przedstawiono na Rysunku 4.



**Rysunek 4** Rozkład nacisków promieniowych w matrycy zamkniętej brykociarki ślimakowej

Z badań wynika, że największe naciski boczne występują przy wyjściu materiału ze ślimaka, a w miarę oddalania się od tulei gardzieli spadają do określonej wartości i w dalszej części matrycy osiągają stałą wartość (średnio od 12-16 MPa przy czole ślimaka do 1-3 MPa w odległości 0,1 m od ślimaka).

Wilgotność materiału ma wpływ na wartość nacisków bocznych, co ilustrują krzywe regresji na Rysunku 4. W pobliżu ślimaka różnice nacisków bocznych dla różnych wilgotności wynoszą około 4 MPa, a przy dnie matrycy około 1 MPa. Zmiana prędkości obrotowej ślimaka nie powoduje znaczących zmian wartości nacisków bocznych.

Na podstawie punktów pomiarowych, metodą regresji wielokrotnej, uzyskano równania wielomianowe trzeciego stopnia rozkładu nacisków bocznych na długości matrycy zamkniętej brykociarki ślimakowej.

Przykładowe równania rozkładu nacisków bocznych (pomiar przy wilgotności trocin 9% i prędkości obrotowej 80 min<sup>-1</sup> – krzywa 5 Rys. 4, oraz wilgotności 9% i prędkości obrotowej ślimaka 50 min<sup>-1</sup> – krzywa 1 Rys. 4) przedstawiono poniżej:

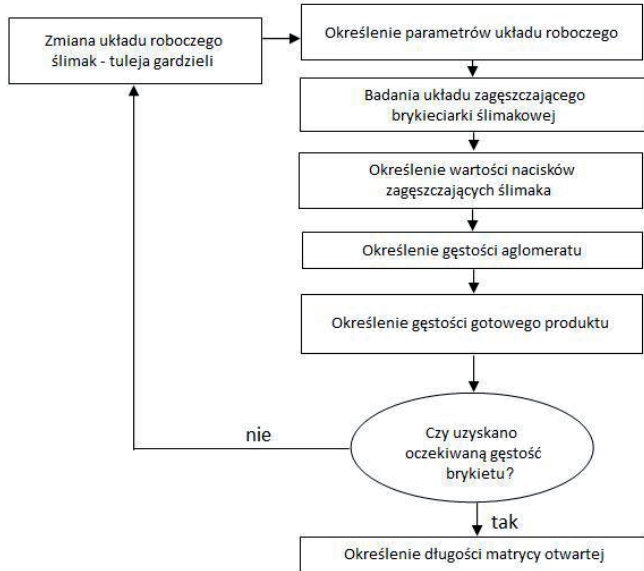
$$y_5 = 27291x^3 - 4851x^2 + 64,014x + 16,158 \quad (1)$$

$$y_1 = 29629x^3 - 5054,4x^2 + 67,447x + 14,486 \quad (2)$$

gdzie:  $x$  – odległość od ślimaka zagęszczającego [m],  $y$  – naciski promieniowe [MPa].

#### 4. WYKORZYSTANIE WYNIKÓW BADAŃ DO OCENY UKŁADU ZAGĘSZCZAJĄCEGO BRYKOCIARKI ŚLIMAKOWEJ

W celu określenia przydatności danego układu roboczego brykociarki ślimakowej do zagęszczania rozdrobnionych materiałów roślinnych, opracowano prostą metodę badań.



**Rysunek 5** Schemat blokowy metody określania przydatności ślimakowego układu roboczego do zagęszczania trocin

Metoda ta, której schemat blokowy przedstawiono na Rysunku 5, oparta jest na badaniach własnych zagęszczania trocin świerkowych w układzie roboczym tłok – matryca zamknięta, tłok – matryca otwarta, ślimak – tuleja gardzieli brykociarki ślimakowej [4].

W celu przeprowadzenia badań (skróconych), matrycę otwartą brykociarki ślimakowej należy zamknąć w odległości około 0,04-0,12 m od ślimaka zagęszczającego denkiem z czujnikiem siły (poz. 9, Rys. 2).

Określenie parametrów wyjściowych:

$x_z$  – długość matrycy zamkniętej w ślimakowym układzie zagęszczającym,

$w$  – wilgotność surowca przeznaczanego do zagęszczania,

$n$  – prędkość obrotowa ślimaka zagęszczającego,

$\rho_{ocz}$  – gęstość brykietu (gotowego produktu) jaką chcemy uzyskać w badanym układzie zagęszczającym.

W badaniach ustalono następujące parametry:  $x_z = 0,12$  m,  $w = 12\%$ ,  $n = 50-80$  min<sup>-1</sup>.

*Wyniki badań układu zagęszczającego brykociarki ślimakowej*

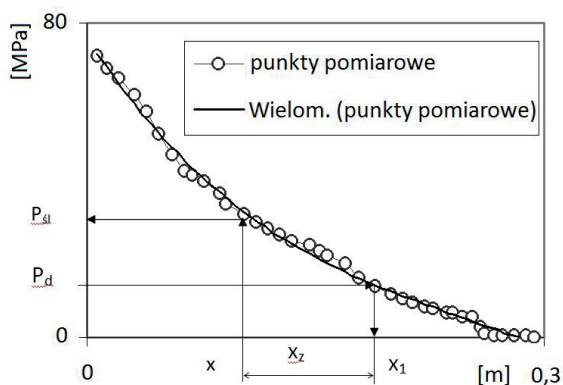
W badaniach określono maksymalny nacisk  $P_d$  na dno matrycy (jak na Rys. 6), prowadząc zagęszczanie do czasu ustania narastania nacisków (ścięcia materiału między ślimakiem a tuleją gardzieli).

**Określenie wartości nacisków zagęszczających ślimaka**

Wykorzystując wyniki badań rozkładu naprężeń osiowych wewnątrz brykietu na jego długości w układzie roboczym tłok – matryca otwarta [4], określono wartość nacisków zagęszczających, przed ścięciem materiału między ślimakiem a tuleją gardzieli, w strefie przy ślimaku  $P_{sl}$  (na podstawie zmierzonych nacisków na dno matrycy zamkniętej  $P_d$  brykociarki ślimakowej). Wartość nacisków  $P_{sl}$  odczytano bezpośrednio z wykresu (Rys. 6), według podanego schematu. Wartości nacisków można też obliczyć z empirycznego wzoru rozkładu naprężeń (3):

$$P_{sl} = -2659,8x^3 + 1926x^2 - 602,56x + 76,431 \quad (3)$$

gdzie:  $x = x_1 - X_z$ .



**Rysunek 6** Sposób określania nacisku zagęszczającego ślimaka

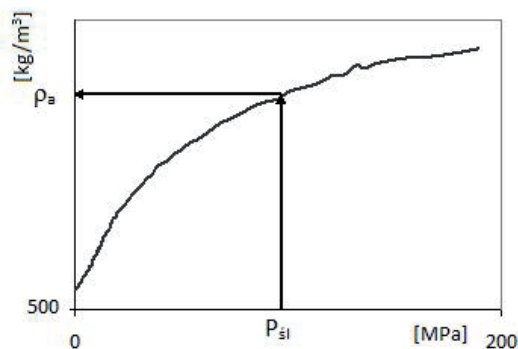
**Określenie gęstości aglomeratu**

Gęstość aglomeratu  $\rho_a$ , odpowiadającą maksymalnym naciskom zagęszczającym ślimaka  $P_{sl}$ , określono z charakterystyki zagęszczania trocin świerkowych w matrycy zamkniętej według schematu – Rysunek 7 [4].

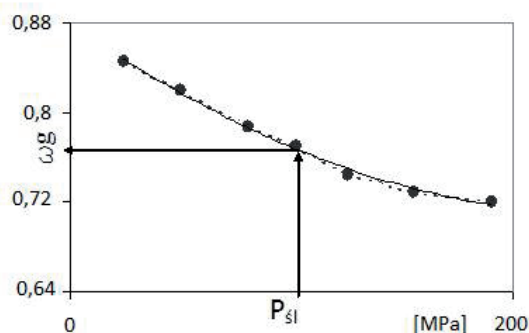
**Określenie gęstości gotowego produktu**

W celu określenia gęstości gotowego produktu należy wyznaczyć wartość współczynnika  $\omega_g$  [4] według schematu przedstawionego na Rysunku 8 lub wzoru (4). Gęstość gotowego produktu otrzymanego w danym układzie roboczym wyniesie:  $\omega_g \cdot \rho_a = \rho_b$ , (gdzie  $\rho_a$  – określono na podstawie Rysunku 7,  $\omega_g$  – współczynnik gęstościowej ekspansji zwrotnej).

$$\omega_g = 3 \times 10^{-6} P_{sl}^2 - 0,0014 P_{sl} + 0,8794 \quad (4)$$



**Rysunek 7** Określenie gęstości aglomeratu w matrycy brykociarki ślimakowej



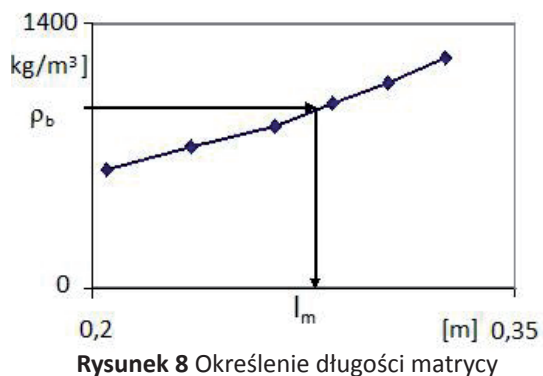
**Rysunek 8** Określenie wartości współczynnika  $\omega_g$  przy zadanych naciskach zagęszczających

**Ocena układu roboczego „ślimak – tuleja gardzieli”**

Na podstawie wyżej wymienionych badań można określić gęstość (maksymalną) gotowego produktu (brykietu), jaka jest możliwa do otrzymania w badanym układzie roboczym brykociarki ślimakowej. Jeżeli określona gęstość produktu  $\rho_b$  jest większa lub równa gęstości oczekiwanej (założonej)  $\rho_{ocz}$ , należy uznać układ roboczy za przydatny do zagęszczania danego materiału i dla tego układu można określić długość matrycy otwartej. W przypadku, gdy określona gęstość brykietu jest mniejsza od oczekiwanej, należy zmienić parametry ślimaka lub kształt powierzchni wewnętrznej tulei gardzieli. Po zmianie parametrów układu roboczego badania należy powtórzyć.

**Określenie długości matrycy otwartej**

Wykorzystując badania przedstawione w pracy [4], uwzględniając zależność gęstości brykietu od długości matrycy, określono długość matrycy otwartej  $l_m$  w brykociarce ślimakowej (dla obliczonej gęstości brykietu  $\rho_b$ ) według schematu



Rysunek 8 Określenie długości matrycy

przedstawionego na Rysunku 9.

## 5. WNIOSKI

Badania doświadczalne potwierdziły poprawność przedstawionej metody. Różnice w gęstości brykietów otrzymywanych doświadczalnie i gęstości określonej powyższą metodą wynosiły około 3-5%.

Metoda ta może być wykorzystywana do określania przydatności układów roboczych brykietarek ślimakowych, do zagęszczania różnych materiałów rozdrobnionych pochodzenia roślinnego, po wcześniejszym wykonaniu charakterystyki zagęszczania, rozkładu naprężeń wewnątrz brykietu oraz określeniu ekspansji zwrotnej.

Mając na uwadze to, że gęstość brykietu dla różnych materiałów pochodzenia roślinnego w wielu przypadkach nie jest jednoznacznie związana z jego jakością, należy przeprowadzić badania sprawdzające wytrzymałość (trwałość) otrzymanych brykietów. Jest to istotny parametr ich oceny użytkowej.

## LITERATURA

- [1] Demianiuk L., Hejft R., Nowe rozwiązania konstrukcyjne brykietarek do trocin, *Przegląd Mechaniczny*, 30-33, nr 1, styczeń 2002.
- [2] Demianiuk L., Hejft R., Urządzenie brykietujące, zwłaszcza do materiałów roślinnych. Urząd Patentowy, lipiec 2008, Patent PL 198907 B1.
- [3] Dzik T., Hryniewicz M., Dobór układu zagęszczania prasy ślimakowej do scalania odpadów z produkcji rolnej, *Chemik*, 61, nr 9, 429-433, 2008.
- [4] Demianiuk L., Brykietowanie rozdrobnionych materiałów roślinnych. Politechnika Białostocka. Wydział Mechaniczny. Praca doktorska. Białystok 2001.
- [5] Hejft R., Demianiuk L., Badanie jakości brykietów opałowych z materiału roślinnego. V Recyklace odpadu, 269-279. Ostrawa 2001.
- [6] Demianiuk L., Badanie procesu zagęszczania słomy rzepakowej, wybór brykietarki. *Czysta energia*, nr 6. Abrys, Wydawnictwa Komunalne. Poznań, 2009.