

Marian DUDZIAK<sup>1</sup>, Ireneusz MALUJDA<sup>2</sup>, Krzysztof TALAŚKA<sup>3</sup>

## POMIAR MOMENTU OBROTOWEGO W ŚLIMAKOWEJ MASZYNIE AGLOMERUJĄCEJ

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono charakterystykę pracy ślimakowej maszyny aglomerującej. Wskazano na potrzebę ciągłego monitorowania wartości roboczego momentu obrotowego ze względu na efektywność pracy maszyny. Przedstawiono autorską konstrukcję momentomierza zabudowanego w nominalnym układzie napędowym komercyjnie produkowanej brykieciarki. Podkreślono wiele zalet wynikających z zastosowania proponowanego rozwiązania. Zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów uzyskanych za pomocą omawianego momentomierza.

**Słowa kluczowe:** momentomierz, ślimakowa maszyna aglomerująca

## TORQUE MEASUREMENT IN WORM AGLOMERATION MACHINE

**Summary.** The paper presents the operating characteristics of the worm agglomeration machine. The paper indicates the need for continuous monitoring of the value of the torque due to the efficiency of the machine. An original structure of torque meter which is built in the standard drive system of briquetting machine was presented. A number of benefits arising from the application of the proposed solution were presented. Exemplary measurement results obtained by means of this torque meter were presented.

**Keywords:** torque meter, worm agglomeration machine

### 1. WPROWADZENIE

Prasy ślimakowe zagęszczają rozdrobniony materiał w sposób ciągły. W wyniku ich pracy powstają brykiety, najczęściej cylindryczne, z otworem w środku. Ich średnica zwykle zawiera się w przedziale od 50 do 90 mm, a długość jest regulowana przez cięcie bądź samoczynne łamanie. Ślimak, wykonując ruch obrotowy, wymusza przemieszczanie się surowca wzdłuż swoich wrębów w stronę otwartej komory prasującej. Kompresowany materiał napierający na wewnętrzne ścianki komory zagęszczającej powoduje wzrost ciśnienia w strukturze aglomerowanego materiału oraz wzrost temperatury (często konieczne

---

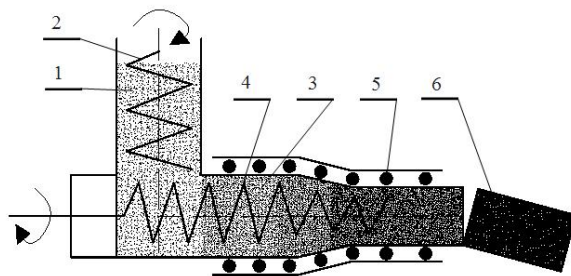
<sup>1</sup> Faculty of Working Machines and Transportation, Poznan University of Technology, Poznan, Poland, e-mail: marian.dudziak@put.poznan.pl.

<sup>2</sup> Faculty of Working Machines and Transportation, Poznan University of Technology, Poznan, Poland, e-mail: ireneusz.maluda@put.poznan.pl.

<sup>3</sup> Faculty of Working Machines and Transportation, Poznan University of Technology, Poznan, Poland, e-mail: krzysztof.talaska@put.poznan.pl.

jest stosowanie dodatkowej grzałki, ponieważ ciepło generowane przez tarcie w przypadku zagęszczania słomy jest niewystarczające). Pracę ślimaka, zwłaszcza przy wysokich ciśnieniach prasowania, charakteryzują bardzo duże siły tarcia zarówno wewnątrz materiału, jak i na powierzchni elementów układu zagęszczającego. W wyniku pracy tarcia oraz podgrzewania tulei następuje wzrost temperatury, co sprzyja zmniejszeniu się oporów zagęszczania oraz uplastycznieniu aglomerowanego materiału. Uplastycznianie w podwyższonej temperaturze materiałów celulozowych i włóknistych korzystnie wpływa na spójność brykietu oraz jego trwałość [2, 3].

Na rys. 1 przedstawiono schemat konstrukcyjny prasy ślimakowej wykorzystywanej do zagęszczania słomy.



Rys. 1. Schemat kinematyczny prasy ślimakowej: 1 – komora podająca, 2 – ślimak podający, 3 – komora zagęszczająca, 4 – ślimak zagęszczający, 5 – grzałka, 6 – brykiet

Fig. 1. Kinetic scheme of worm press: 1 – feeding chamber, 2 – feeding worm, 3 – agglomeration chamber, 4 – agglomeration worm, 5 – heater, 6 – briquette

Rozdrobniony materiał kierowany jest w pierwszej kolejności do komory podającej 1 i dalej do komory zagęszczającej 3. Ciągłość podawania surowca do komory zagęszczającej zapewniają dwa wały ślimakowe 2 i 4. Pierwszy transportuje materiał, drugi z komorą zagęszczającą stanowi zespół prasujący.

W wyniku pracy tarcia następuje wzrost temperatury w komorze zagęszczającej, która dodatkowo jest podgrzewana elektrycznie do temperatury ok. 210–240°C. W takich warunkach zagęszczany materiał uplastycznia się i stanowi skonsolidowaną strukturę powstałą bez konieczności stosowania dodatkowych środków wiążących. Aby zapewnić najwyższą wartość opałową i płynność procesu zagęszczania, wilgotność podawanej słomy powinna zawierać się w przedziale 10–15%. Wzrost wilgotności obniża wartość opałową brykietu, a zbyt sucha słoma powoduje, że brykiet nie jest trwały i szybko się rozpada. Po wyjściu z tulei gorący brykiet ochładza się i ostatecznie formuje podczas przemieszczania się w prowadnicy stabilizującej o długości co najmniej 3 m. Zanim brykiet dotrze do końca prowadnicy, wystarczająco się wystudzi, a potem łamie się grawitacyjnie na odcinki o długości około kilkanastu centymetrów.

## 2. OBIEKT BADAŃ

Wykorzystanie biomasy w celach energetycznych jest ważnym elementem ochrony środowiska oraz alternatywnym źródłem pozyskiwania energii elektrycznej i ciepłej. Istnieje wiele firm produkujących infrastrukturę przydomowych i przemysłowych elektrowni. Jedną z nich jest poznańska firma ASKET, aktywnie wdrażająca technologię oraz maszyny do aglomeracji materiałów włóknistych w kraju i zagranicą, z którą współpracuje Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn. W kręgu zainteresowań badawczych są procesy zachodzące

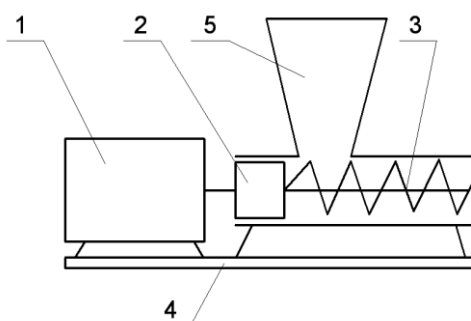
podczas zagęszczania tego rodzaju materiałów pochodzących z różnych stref klimatycznych świata, w technice aglomeracji ślimakowej. Stanowi to podstawę do szerszej oceny procesów uplastyczniania i zagęszczania naturalnych polimerów oraz efektywnego kształtowania cech geometrycznych i funkcjonalnych służących temu celowi.

Badaniom poddano podstawowy moduł roboczy maszyny zagęszczającej produkowanej przez firmę ASKET, którego konstrukcję przystosowano do sprzężenia ze specjalistycznym układem aparaturowo-badawczym.

Takie rozwiązanie umożliwiło wykonanie badań w warunkach rzeczywistych oraz pomiary i rejestrację komputerową następujących wielkości fizycznych:

- momentu występującego na wale ślimakowym,
- siły działającej wzdłuż osi ślimaka,
- temperatury w czterech punktach na długości tulei formującej,
- energii zużywanej na proces zagęszczania i formowania brykiету,
- początkowej wilgotności zagęszczanego materiału,
- masy i czasu trwania procesu formowania, w celu określenia wydajności,
- rzeczywistego zużycia energii.

Podstawowymi parametrami pracy maszyny do aglomeracji w technice ślimakowej są moment obrotowy na wale i siła wzdłużna. Można je mierzyć za pomocą znanych przyrządów pomiarowych, ale konieczność zabudowy momentomierza i siłomierza w nominalnym układzie napędowym maszyny wymagała zaproponowania oryginalnych, autorskich rozwiązań konstrukcyjnych. Na rys. 2 przedstawiono uproszczony schemat maszyny, wskazując (pozycja 2) miejsce zabudowy momentomierza pomiędzy źródłem napędu i ślimakiem zagęszczającym.



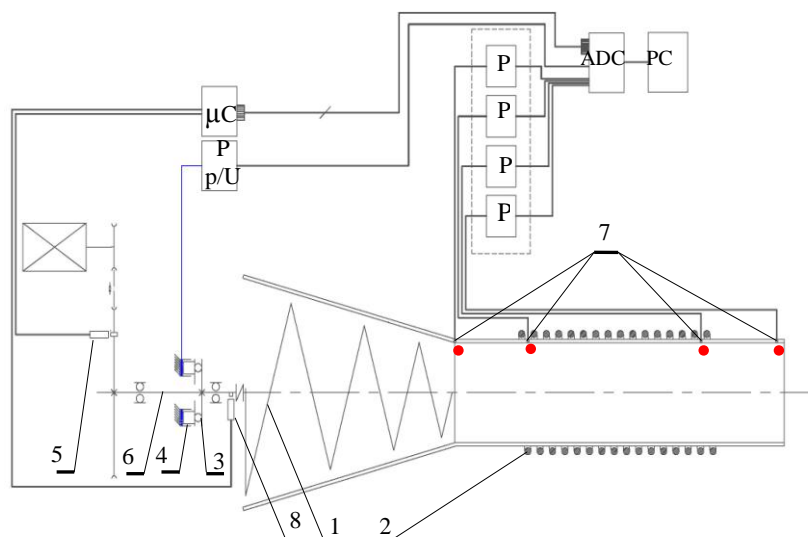
Rys. 2. Uproszczony schemat ślimakowej maszyny aglomerującej: 1 – silnik napędowy, 2 – momentomierz, 3 – ślimak zagęszczający, 4 – podstawa, 5 – lej zasypowy

Fig. 2. Simplified diagram of worm agglomeration machine: 1 – an engine, 2 – torque meter, 3 – agglomeration worm, 4 – base, 5 – charging hopper

Rozbudowany schemat układu badawczo-omiarowego w połączeniu z maszyną aglomerującą przedstawiono na rys. 3.

W układzie napędowym maszyny zastosowano falownik w celu zapewnienia płynnej regulacji prędkości obrotowej ślimaka. Ponadto, oprócz momentomierza wskazano miejsce zabudowy drugiego zespołu oryginalnej konstrukcji siłownika pomiarowego siły wzdłużnej, którego w niniejszej pracy nie omawia się.

Działanie większości momentomierzy oparte jest na pomiarze momentu obrotowego, polegającym na pośredniej rejestracji, za pomocą mostków tensometrycznych, skrótnego odkształcenia sprężystego wału. W tego typu rozwiązaniach kłopotliwa jest transmisja danych rejestrowanego odkształcenia elementu wykonującego ruch obrotowy. Istnieją również momentomierze wykorzystujące zjawisko indukcyjności [4, 5].



Rys. 3. Schemat pomiarowy maszyny do aglomeracji w technice ślimakowej: 1 – ślimak, 2 – grzałka, 3 – łożysko wzdłużne, 4 – siłownik pomiarowy, 5 – czujnik binarny, 6 – wałek skrętny, 7 – czujniki temperatury, 8 – czujnik binarny wewnętrzny,  $\mu\text{C}$  – mikrokontroler,  $p/U$  – czujnik ciśnienia, P – przetwornik uniwersalny

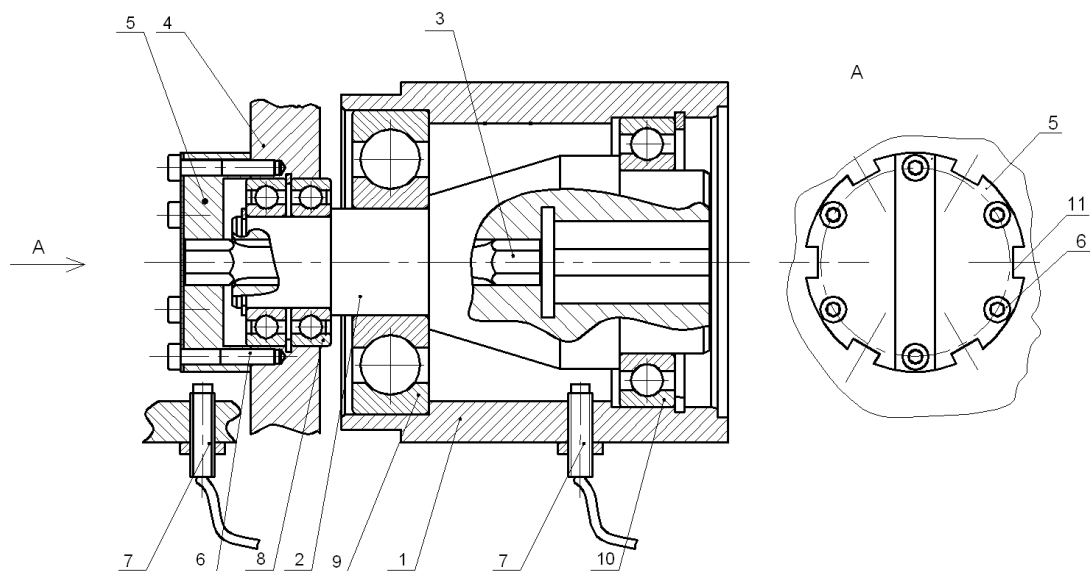
Fig. 3. Measuring scheme of the worm method agglomeration machine: 1 – worm, 2 – heater, 3 – thrust bearing, 4 – measuring servomotor, 5 – binary sensor, 6 – flexible shaft, 7 – temperature sensors, 8 – inner binary sensor,  $\mu\text{C}$  – microcontroller,  $p/U$  – pressure sensor, P – universal converter

### 3. KONSTRUKCJA MOMENTOMIERZA

Do pomiaru momentu wykorzystano specjalistyczny zespół pomiarowy, w skład którego wchodzi wałek skrętny wbudowany wewnątrz zespołu łożyskowania ślimaka prasującego. Pomiaru momentu roboczego występującego na ślimaku, dokonuje się, rejestrując skrętne przemieszczenie kątowe. Mierzy się je za pomocą dwóch czujników indukcyjnych sprzężonych z procesorem Atmega 8, który wykorzystując specjalnie do tego celu opracowany program, oblicza wartość momentu. Wynik pomiaru przedstawiany jest na wyświetlaczu ciekłokrystalicznym. Ważne jest to, że takie rozwiązanie umożliwia pomiar momentu technologicznego, czyli wynikającego z oporów zagęszczania, z pominięciem oporów własnych maszyny. Na rys. 4 przedstawiono schemat konstrukcyjny momentomierza.

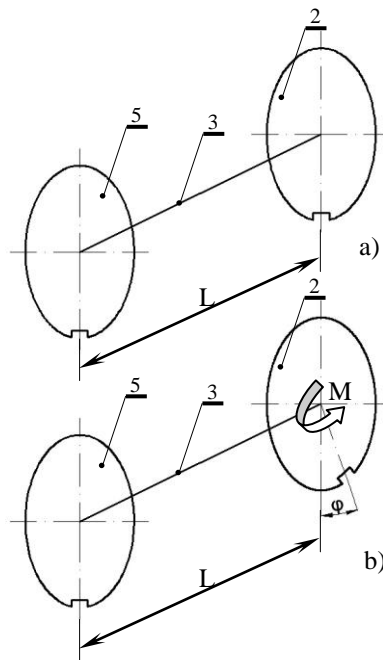
Momentomierz (rys. 4) składa się z wału głównego 2 osadzonego w tulei 1 na dwóch łożyskach kulkowych poprzecznych 9 i 10. Moment przenoszony jest z koła łańcuchowego 4 osadzonego na łożyskach 8 zamontowanych na czopie wału 2. Koło łańcuchowe 4 połączone jest z wałem 2 przez tarczę pomiarową 5 przykręconą śrubami 6 do koła łańcuchowego 4. Tarcza pomiarowa 5 jest osadzona na jednym końcu wałka skrętnego 3. Drugi koniec wałka skrętnego 3 związany jest kształtowo z wałem głównym 2. W wyniku takiego połączenia moment przekazywany jest z koła łańcuchowego 4 na wał główny 2 przez wałek skrętny 3. Zarówno tarcza pomiarowa 5, jak i wał główny 2 na obwodzie mają nacięte rowki 11, które stanowią źródło rejestrowanych impulsów przez czujniki 7 podczas obracania się wału. Wykrywanie i analizę impulsów wytwarzanych przez czujniki 7 podczas pracy maszyny realizuje układ elektroniczny. W początkowej fazie po uruchomieniu maszyny z nie-

obciążonym wałem napędowym układ elektroniczny rejestruje sygnały z obu czujników 7 w tym samym czasie. Od momentu rozpoczęcia procesu technologicznego, w wyniku którego następuje stopniowe – łagodne bądź gwałtowne – obciążenie wałka skrętnego 3, ulega on sprężystym odkształceniom skrętnym. Odkształcenia skrętne wałka 3 powodują przesunięcie fazowe generowanych w czujnikach 7 impulsów elektrycznych. W wyniku obciążenia wałka skrętnego 3 momentem obrotowym, układ elektroniczny określa jego kąt skręcenia  $\varphi$  (rys. 5). Znajomość wartości kąta skręcenia wałka skrętnego 3, przy znanych jego parametrach geometrycznych i właściwościach mechanicznych materiału, z którego jest wykonany, umożliwia obliczenie wartości momentu skręcającego przenoszonego przez układ napędowy [1]. Momentomierz umożliwia również pomiar prędkości obrotowej wału napędowego.



Rys. 4. Schemat konstrukcyjny momentomierza: 1 – tuleja, 2 – wał napędowy, 3 – wałek skrętny, 4 – koło łańcuchowe, 5 – tarcza pomiarowa, 6 – śruby mocujące, 7 – czujniki indukcyjne, 8 – łożysko kulkowe poprzeczne I, 9 – łożysko kulkowe poprzeczne II, 10 – łożysko kulkowe poprzeczne III, 11 – rowki pomiarowe

Fig. 4. Construction diagram of torque meter: 1 – sleeve, 2 – drive shaft, 3 – flexible shaft, 4 – chain wheel, 5 – measuring shield, 6 – fixing screws, 7 – inductive sensors, 8 – radical contact ball bearing I, 9 – radical contact ball bearing II, 10 – radical contact ball bearing I, 11 – measuring grooves



Rys. 5. Schemat pomiaru kąta skręcenia (oznaczenia jak na rys. 4): 2 – wał napędowy, 3 – wałek skrętny, 5 – tarcza pomiarowa, a) wał nieobciążony momentem obrotowym, b) wał obciążony momentem obrotowym

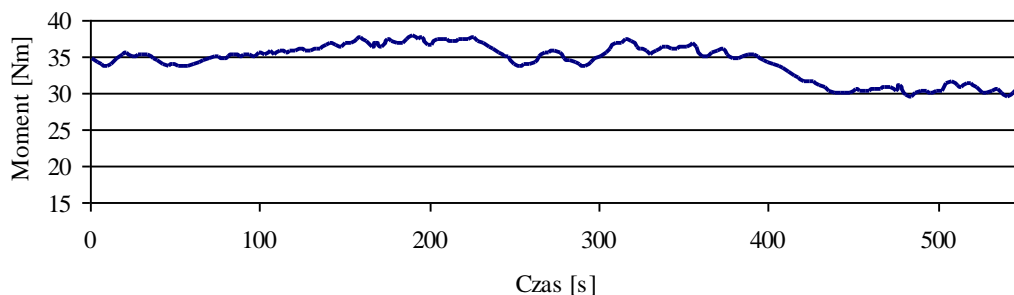
Fig. 5. Measurement of turning angle diagram (symbols as Fig. 4): 2 – drive shaft, 3 – flexible shaft, 5 – measuring shield, a) unloaded shaft torque, b) loaded shaft torque

Rysunek 6 przedstawia maszynę zagęszczającą z zabudowanym układem pomiarowym i układem elektronicznym do akwizycji danych.



Rys. 6. Maszyna do ciągłej aglomeracji w technice formowania ślimakowego: a) maszyna w sprzężeniu z zestawem aparatury pomiarowej, b) zestaw pomiarowo-badawczy i rejestracji danych

Fig. 6. The machine for continuous agglomeration in worm forming technique: a) the machine connected to measurement set, b) research-measurement and storing data set



Rys. 7. Wyniki badań parametrów zagęszczania rozdrobnionej słomy żytniej w maszynie do aglomeracji w technice ślimakowej – charakterystyka zmiany momentu oporu na ślimaku w funkcji czasu

Fig. 7. Results of parameters of crushed rye straw in worm agglomeration machine – change of the moment of resistance on the worm as a time function

Moment mierzony powyższą metodą ma wartość uśrednioną na drodze trzech obrotów ślimaka, a oszacowany błąd nie przekracza 3%.

#### 4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie przedstawionego w pracy rozwiązania konstrukcyjnego pozwala na uzyskanie następujących efektów techniczno-użytkowych:

- pomiar wartości momentu obrotowego momentomierzem odbywa się bezstykowo,
- zapewniono niewrażliwość układu transmisji danych na zakres prędkości obrotowych,
- układ jest odporny na zakłócenia elektryczne i drgania,
- pomiaru wartości momentu można dokonywać w sposób ciągły podczas pracy maszyny,
- zapewniono możliwość zabudowania elementów momentomierza w nominalnym wale napędowym,
- zmniejszono wymaganą przestrzeń zabudowy,
- konstrukcja momentomierza jest nieskomplikowana i tania,
- zaproponowana konstrukcja momentomierza umożliwia zabezpieczenie wałka pomiarowego przed przeciążeniem.

#### Bibliografia

1. Dąbrowski Z., Maksymiuk M.: Wały i osie. PWN, Warszawa 1984.
2. Madej M.: Opracowanie konstrukcji urządzenia do zagęszczania materiałów pochodzenia roślinnego z wykorzystaniem narzędzi do projektowania 3D. Politechnika Poznańska 2008.
3. Malujda I., Talaśka K.: Zagęszczanie biomasy – ekologiczna technologia. Studium Vilnense, Vol. 8, 2010.
4. Patent nr 355546.
5. Patent 45639.