

ENERGOOSZCZĘDNA, PRZYCZEPIANA MASZYNA DO ZBIORU I ZAGĘSZCZANIA BIOMASY METODĄ ZWIJANIA

Florian Adamczyk

Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

Streszczenie. Celem pracy było opracowanie innowacyjnej konstrukcji przyczepianej maszyny realizującej proces brykietowania metodą zwijania. Do opracowywania konstrukcji maszyny wykorzystano oprogramowanie SolidWorks. W efekcie prac projektowych powstała przyczepiana do ciągnika rolniczego maszyna składająca się z 7 zasadniczych zespołów roboczych, napędzanych mechanicznie i hydraulicznie. Napęd mechaniczny na główną skrzynię przekładniową maszyny będzie pobierany od współpracującego ciągnika i przekazywany przez WOM. Z głównej skrzyni przekładniowej będą napędzane również pompy hydrauliczne, zasilające hydrauliczne silniki napędowe i siłowniki. Założono, że wydajność maszyny będzie wynosić $1,5 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$, przy zapotrzebowaniu mocy około 40 kW. Opracowana w PIMR przyczepiana maszyna, realizująca proces brykietowania materiałów żdźbłowych metodą zwijania, wpisuje się w działania zmierzające do zwiększenia wykorzystania słomy na cele energetyczne.

Słowa kluczowe: maszyna przyczepiana, konstrukcja, biomasa, zagęszczanie, energooszczędność, brykietowanie metodą zwijania

Wprowadzenie

Jedną z racjonalnych, ekologicznych i zgodnych z prawem możliwości zagospodarowania nadwyżek słomy jest jej wykorzystanie w energetyce. Do spalania może być użyta słoma praktycznie wszystkich rodzajów zbóż oraz rzepaku i gryki. Jednak ze względu na właściwości fizyczne i chemiczne, najczęściej używana jest słoma żytnia, pszenna, rzepakowa i gryczana oraz z kukurydzy. Aby możliwe było racjonalne wykorzystanie słomy do celów energetycznych, musi ona spełniać określone wymagania technologiczne, posiadając odpowiednią wartość opałową, wilgotność, stopień zwiędnięcia i gęstość.

Przestrzenno-rurkowa budowa żdźbła słomy sprawia, że jest to materiał objętościowy, którego struktura charakteryzuje się nadmiarem powietrza. Konsekwencją tej budowy jest fakt, że słoma luźna ma niewielką gęstość usypową (Kanafojski i Karwowski, 1974;

Smith i in., 1977; O'Dogherty, 1989; Grzybek i in., 2001; Denisiuk i Piechocki, 2005; Adapa i in., 2009).

Niewielka gęstość usypowa powoduje, że słoma ma równocześnie mniejszą gęstość energetyczną (wartość opałową odniesioną do jednostki objętości). Aby więc było ekonomicznie uzasadnione jej wykorzystanie w energetyce, należy zwiększyć jej stopień zagęszczenia i to najlepiej bezpośrednio na polu. Taki proces jest realizowany przez wszelkiego rodzaju prasy wysokiego stopnia zgniotu bądź zwijające i pozwala nawet na dziesięciokrotne zwiększenie zagęszczenia słomy.

Większe zagęszczenie słomy, a przez to większą gęstość energetyczną, uzyskuje się przez jej brykietowanie lub peletowanie (Kanafojski i Karwowski, 1974; Smith i in., 1977; O'Dogherty 1989; Grzybek i in., 2001; Hejft, 2002; Denisiuk i Piechocki, 2005; Adapa i in., 2009; Frączek, 2010) (tab. 1).

Tabela 1

Gęstość objętościowa słomy zbóż dla różnych sposobów jej przygotowywania

Table 1

Bulk density of cereal straw for different methods of preparation

Postać słomy	Gęstość objętościowa, (kg·m ⁻³)
Luźna*	20–50
Pocięta 30–50 mm*	40–60
Pocięta 0,2–1,2 mm*	84–110
Bele prostopadłościennne 460×360×800 mm	75–100
Bele cylindryczne o średnicy 1200–1500 mm	70–110
Bele prostopadłościennne 800×800×2400 mm	90–140
Bele prostopadłościennne 1200×1200×2400 mm (bele z prasy Hesston)	160–170
Brykiety z niepociętej słomy; walce ø 70–100 mm	300–400
Brykiety z pociętej słomy; walce ø 60–100 mm; prostopadłościanny o boku od 70 do 150 mm	300–1200
Pelety ø 5–40 mm	550–1000

* - gęstość usypowa

Do brykietowania najczęściej stosuje się stacjonarne brykietciarki tłokowe bądź ślimakowe. Materiałem wyjściowym do brykietowania jest pocięta na sieczkę lub zmielona słoma, bądź rozdrobniona biomasa drzewna. W zależności od wykorzystanej technologii rozdrobnienia długość sieczki zawiera się od kilku milimetrów (mielenie) do kilkudziesięciu milimetrów (cięcie). Procesy cięcia i mielenia są jednak bardzo energochłonne, dlatego też prowadzone są prace badawcze, zmierzające do ich usunięcia z technologii zagęszczania materiałów objętościowych.

Pod koniec lat 60-tych XX w. opracowano i opatentowano pierwsze polowe maszyny przyczepiane do brykietowania siana oraz niepociętych, przewiędnionych zielonek z przeznaczeniem na kiszonkę. Z opatentowanych maszyn wykonano kilka prototypów, które zbadano w warunkach polowych (Molitorisz i McColly, 1969; Kobr i in., 1970; Lanča i Čermak, 1971; Kaczmarek, 1974; Kanafojski i Karwowski, 1974; Karczmarek, 1974; Osobow, 1974).

Z różnych względów, m.in. z obawy o trwałość uzyskiwanych aglomeratów, nie próbowano wówczas tej metody wykorzystywać do zagęszczania słomy. Kilka lat temu powrócono do tego pomysłu w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu. Efektem prowadzonych prac badawczych jest uzyskanie wiedzy poznawczej i użytecznej, pozwalającej na opracowanie konstrukcji ciągnikowej maszyny brykietującej słomę metodą zwijania oraz wytycznych pozwalających na jej efektywną pracę z tym materiałem.

Cel i zakres pracy

Przy projektowaniu maszyn brykietujących materiały żdźbłowe z przeznaczeniem na cele energetyczne ważne jest, aby ilość energii potrzebnej do wytworzenia brykietów nie była większa od ilości energii uzyskanej finalnie z ich spalania.

Celem przedstawianej pracy było określenie głównych parametrów technicznych projektowanej maszyny ciągnikowej, realizującej proces brykietowania metodą zwijania, oraz opracowanie jej konstrukcji.

Osiągnięcie postawionego celu wymagało opracowania analizy danych z dostępnej literatury (Molitorisz i McColly, 1969; Kobr i in., 1970; Lanča i Čermak, 1971; Kaczmarek, 1974; Olszewski, 1973; Kanafojski i Karwowski, 1974; Kaczmarek, 1974; Osobow, 1974) na temat przedmiotowego zagadnienia i przeprowadzenie własnych badań. Wyniki tej analizy pozwoliły na przyjęcie założeń funkcjonalnych i istotnych cech oraz zasadniczych parametrów technicznych projektowanej maszyny. Stały się one z kolei podstawą do opracowania schematu kinematycznego projektowanej maszyny, na bazie którego wykonano modele 3D elementów składowych maszyny i jej dokumentacji technicznej.

Energochłonność brykietowania słomy metodą zwijania

Z opublikowanych danych badawczych wynika, że podczas brykietowania metodą tłokową wymagana jest trzy razy większa energia, niż podczas brykietowania metodą zwijania (Kobr i in., 1970; Lanča i Čermak, 1971; Olszewski, 1973; Kaczmarek, 1974; Kanafojski i Karwowski, 1974; Adamczyk i Frąckowiak, 2009). Dzieje się tak, gdyż podczas zwijania naciski powodujące przemieszczanie materiału są wywierane równomiernie przez obracające się wałki tworzące komorę roboczą, co przy większej sprawności skutkuje mniejszym zapotrzebowaniem na moc i zużyciem energii w porównaniu do dynamicznego oddziaływania tłoka na zagęszczany materiał (Kobr i in., 1970; Lanča i Čermak, 1971; Olszewski, 1973; Kaczmarek, 1974; Kanafojski i Karwowski, 1974; Osobow, 1974). Samoczynne wysuwanie się zwoju z komory zwijania uzyskuje się przy zwichrowanym układzie wałków cylindrycznych lub przy nachyleniu (z ewentualnym zwichrowaniem) wałków stożkowych. Podawana warstwa materiału roślinnego przez szczelinę między dwoma sąsiednimi wałkami dostaje się do komory roboczej, w której zostaje zwijana jedna wokół drugiej i przybierając kształt tej komory, podlega zagęszczaniu. W odróżnieniu od systemu tłokowego, w którym znaczna część energii jest tracona na pokonanie oporów tarcia, a także na pokonanie oporów wskutek rozprężania się materiału po cofnięciu tłoka, w systemie zwijania z zagęszczaniem w czasie wprowadzania, zagęszczania i opróżniania materiału dokonywanego w nieprzerwanym procesie występują mniejsze opory tarcia wpływające na niższe zapotrzebowanie energii i poziom wydajności procesu. Ta metoda

brykietowania charakteryzuje się również łagodną dynamiką obciążeń elementów maszyny, bez szczytowych ciśnień i intensywnego tarcia, co skutkuje zwiększeniem trwałości nowej maszyny i zmniejszeniem jej kosztów eksploatacji.

Szczegółową analizę porównawczą energochłonności prowadzonego na stanowisku badawczym procesu brykietowania niepociętej słomy metodą zwijania z różnymi metodami brykietowania pociętej słomy, z uwzględnieniem procesu rozdrabniania słomy na sieczkę, przedstawiono w pracy (Adamczyk i Frąckowiak, 2009). Wyniki tych porównań pokazują, że jednostkowe zużycie energii na brykietowni prasami tłokowymi lub ślimakowymi połączone z wcześniejszym cięciem słomy na sieczkę zawierało się w granicach 0,04–0,08 kWh·kg⁻¹, zaś brykietowanie metodą zwijania pochłaniało około 0,02 kWh·kg⁻¹.

Określenie głównych parametrów technicznych projektowanej maszyny

Wyniki wspomnianych powyżej porównań, a przede wszystkim przeprowadzonych do tej pory w PIMR w Poznaniu wieloletnich badań stanowiskowych brykietowania niepociętej słomy metodą zwijania, pozwoliły na wyznaczenie podstawowych parametrów zarówno samego procesu, jak i parametrów technicznych zespołów roboczych, realizujących ten proces. Badania stanowiskowe przeprowadzono głównie na słomie pszenicznej, przy przepustowości 400–500 kg·ha⁻¹. Przy najlepszych ustawieniach parametrów pracy zespołu brykietującego uzyskano stopień zagęszczenia materiału, czyli stosunek gęstości objętościowej brykietu do gęstości objętościowej luźnej słomy, dochodzący do 35 (Adamczyk i in., 2006; Adamczyk i Frąckowiak, 2009; Adamczyk, 2010; Adamczyk, 2011). Analizując uzyskane wyniki badań laboratoryjnych, a także znane z literatury wyniki badań polowych maszyn brykietujących metodą zwijania siano i zielonki na kiszonkę (Kobr i in., 1970; Lanča i Čermak, 1971; Kaczmarek, 1974; Kanafojski i Karwowski, 1974), oraz mając na względzie wymogi racjonalnego prowadzenia brykietowania słomy w rzeczywistych warunkach polowych, przyjęto następujące, główne parametry techniczne projektowanej maszyny brykietującej:

– przepustowość	1,5 t·h ⁻¹
– masa maszyny	2000 kg
– zapotrzebowanie mocy	40 kW
– wyjściowa prędkość obrotowa WOM	1000 min ⁻¹
– prędkość obrotowa walców brykietujących	650 min ⁻¹
– prędkość obrotowa wału podbieracza	120 min ⁻¹
– prędkość obrotowa tarczy piły	1500 min ⁻¹
– przewidywane średnie zagęszczenie brykietów	500 kg·m ⁻³ .

Na podstawie badań stanowiskowych zapotrzebowanie mocy dla nowo projektowanej maszyny polowej przyjęto na podstawie mocy wymaganej do napędu prasy wysokiego stopnia zgniotu dla małych bel prostopadłościennych (30–40 kW) i pras zwijających o mniejszej średnicy bel (40–50 kW). W porównaniu do pras formujących duże bele prostopadłościenne (70–100 kW) lub dużych pras zwijających (60–70 kW) przyjęte zapotrzebowanie na moc jest dwukrotnie mniejsze. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań laboratoryjnych zakłada się, że zwijany brykiet ze słomy po kombajnowym zbiorze będzie miał dwu-, trzykrotnie większą gęstość właściwą (patrz tab. 1), niż małe bele z pras

wysokiego stopnia zgniotu lub bele cylindryczne, oraz dwukrotnie większą, niż duże bele prostopadłościennie.

Dopiero jednak wykonanie prototypu zaprojektowanej maszyny pozwoli przeprowadzić walidację przedstawionych założeń jej parametrów pracy. Badania prototypu maszyny przyczepianej dadzą także odpowiedzi na wiele pytań dotyczących przebiegu procesu brykietowania słomy metodą zwijania w rzeczywistych warunkach polowych oraz zapewne pozwolą na pozyskanie nowych danych opisujących ten proces.

Wykonanie wirtualnego modelu 3D maszyny brykietującej

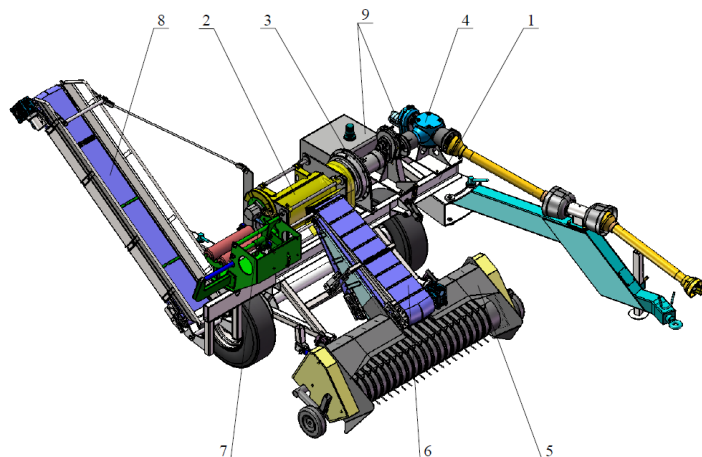
Zespoły robocze polowej brykietarki zwijającej będą napędzane mechanicznie i hydraulicznie. Napęd mechaniczny będzie pobierany od współpracującego ciągnika i przekazywany przez WOM do głównej skrzyni przekładniowej, która rozdziela go na zespoły robocze poprzez przekładnie zębate. Z tej skrzyni będą także napędzane pompy hydrauliczne, zasilające cały układ hydrauliczny zaprojektowanej maszyny przyczepianej.

Dla zaproponowanej koncepcji układu i przebiegu napędu mechanicznego opracowano schemat kinematyczny maszyny. Na jego podstawie wykonano w programie SolidWorks™ modele 3D wszystkich części, podzespołów i zespołów oraz całej maszyny polowej do brykietowania metodą zwijania. Na rysunku 1 przedstawiono opracowany model bryłowy 3D zaprojektowanej maszyny ciągnikowej do brykietowania niepociętej słomy i innych podobnych materiałów objętościowych metodą zwijania.

Zaprojektowana maszyna będzie się składała z montowanych do ramy z podwoziem i dyszlem 7 głównych zespołów roboczych. W procesie projektowania, dla obniżenia kosztów wykonania i montażu, starano się wykorzystać jak najwięcej gotowych, dostępnych na rynku podzespołów, w szczególności dotyczy to całych przekładni i innych części składowych układu przeniesienia napędu. Gotowym zespołem, wykorzystanym w projektowanej maszynie, jest również pochodzący od jednej z polskich pras zwijających podbieracz, który dla potrzeb maszyny brykietującej został w niewielkim stopniu zmodyfikowany poprzez zwężenie jego gardzieli.

Na podstawie wykonanych modeli 3D części podzespołów i zespołów maszyny przy użyciu tego samego oprogramowania została wykonana dokumentacja wykonawcza, która posłuży do zbudowania rzeczywistej maszyny przyczepianej, na której będzie można przeprowadzić szeroki zakres badań weryfikujących przyjęte założenia konstrukcyjne i technologiczne.

Dodatkowo w ramach prowadzonych prac koncepcyjnych i konstrukcyjnych nad maszyną polową do brykietowania słomy metodą zwijania zostały również opracowane i dostarczone do Urzędu Patentowego RP w Warszawie dwa zgłoszenia patentowe wynalazków, które otrzymały numery P.398864 i P.398865. Zastrzeżenia dotyczą elementów składowych maszyny, a także zastosowanych w maszynie rozwiązań układu sterowania parametrami jej pracy. To pierwsze zgłoszenie patentowe zostało również wysłane w trybie PCT do Europejskiego Urzędu Patentowego w Monachium i otrzymało numer PCT/PL2012/00070.



Rysunek 1. Model maszyny polowej do brykietowania słomy metodą zwijania: 1 – rama nośna z dyszlem i podwoziem, 2 – zespół brykietujący, 3 – przekładnia wielodrożna, 4 – układ napędowy, 5 – zespół podbierający, 6 – zespół wyrównujący i wstępnie zagęszczający, 7 – zespół odcinający brykiety, 8 – przenośnik ładujący, 9 – układ hydrauliczny

Figure 1. A model of a field machine for briquetting of straw with the curling method: 1 – frame bearer with drawbar and chassis, 2 – rolling up segment, 3 – multipath gearbox, 4 – driveline, 5 – pick-up unit, 6 – equalizer and pre-compaction assembly, 7 – cutting unit, 8 – loader conveyor, 9 – hydraulic system

Podsumowanie

W Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych od wielu lat są prowadzone badania nad zastosowaniem metody zwijania do brykietowania niepociętej słomy. W ich efekcie zostały przyjęte założenia konstrukcyjne i eksploatacyjne, prowadzące do opracowania maszyny ciągnikowej, tworzącej brykiety charakteryzujące się odpowiednim stopniem zagęszczenia brykietów i racjonalną dla tego typu maszyny wydajnością roboczą.

Opracowana w PIMR przyczepiana maszyna brykietująca, realizująca proces brykietowania materiałów żdźbłowych metodą zwijania, wpisuje się w działania zmierzające do zwiększenia wykorzystania słomy na cele energetyczne. Przy projektowaniu takich maszyn ważne jest, aby ilość energii potrzebnej do wytworzenia paliwa nie była większa od ilości energii uzyskanej finalnie z jego spalania. W konstrukcji maszyny zastosowano możliwie jak największą liczbę gotowych, dostępnych na rynku podzespołów i części, co wydatnie zmniejsza liczbę koniecznych do wykonania elementów i obniża koszt jej produkcji.

Zbudowanie prototypu maszyny brykietującej i przeprowadzone badania pozwolą na pozyskanie wartościowych danych poznawczych i użytecznych procesu zagęszczania metodą zwijania niepociętej słomy różnych roślin uprawnych, ze szczególnym uwzględnieniem roślin uprawianych na cele energetyczne, które ze względu na swoją budowę morfologiczną i cechy fizyczne mogą być tą metodą zagęszczane.

Bibliografia

- Adamczyk, F.; Frąckowiak, P.; Kośmicki, Z.; Mielec, K.; Zielnica, M. (2006). Badania eksperymentalne procesu zagęszczania słomy metodą zwijania. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 51(3), 5-10.
- Adamczyk, F.; Frąckowiak, P. (2009). The energy-consuming of the process of straw compaction by the method of curling. *Annual Review of Agricultural Engineering*, 7(1), 41-50.
- Adamczyk, F. (2010). Wpływ prędkości walców brykietujących na zagęszczenie tworzonego brykiету. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 55(3), 7-10.
- Adamczyk, F. (2011). Parametry ruchu brykiету tworzonego metodą zwijania a jego odcinanie. *Inżynieria Rolnicza*, 8(133), 7-14.
- Adamczyk, F.; Frąckowiak, P.; Jankowiak, S.; Krupnik, J.; Pawłowski, T.; Szczepaniak, J.; Spychała, W.; Wąchalcki, G. *Urządzenie do wytwarzania wysoko zagęszczonych brykietów z roślin żdźbłowych i lub łodygowych, zwłaszcza zaczepiane do ciągnika*. Zgłoszenia patentowe P.398864 z 17.04.2012 r.
- Adamczyk, F.; Frąckowiak, P.; Jankowiak, S.; Krupnik, J.; Pawłowski, T.; Szczepaniak, J.; Spychała, W.; Wąchalcki, G. *A device for preparing a high density briquette from cereal and/or other plants, especially for coupling to a tractor*. Międzynarodowe zgłoszenie patentowe PCT/PL2012/00070 z 17.08.2012 r.
- Adamczyk, F.; Frąckowiak, P.; Jankowiak, S.; Pawłowski, T.; Szczepaniak, J.; Spychała, W.; Wąchalcki, G. *Maszyna do brykietowania materiałów pochodzenia roślinnego, zwłaszcza nie pociętej słomy*. Zgłoszenie patentowe P.398865 z 17.04.2012 r.
- Adapa, P.; Tabil, L.; Schoenau, G. (2009). Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw. *Biosystems Engineering*, 104(3), 335-344.
- Denisiuk, W.; Piechocki, J. (2005). *Techniczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele grzewcze*. Olsztyn, Wydawnictwo UWM, ISBN 83-7299-410-2.
- Frączek, J. (red.). (2010). *Przetwarzanie biomasy na cele energetyczne*. Kraków, PTIR, 161-220.
- Grzybek, A.; Gradziuk, P.; Kowalczyk, K. (2001). *Słoma ekologiczne paliwo*, Warszawa, ISBN 83-88368-19-2.
- Hejft, R. (2002). *Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych*. Biblioteka problemów eksploatacji, Białystok, Politechnika Białostocka, ISBN 837-20-42-519.
- Kaczmarek, J.; Małuszyński, M.; Liska, M. (1974). *Stan techniki w dziedzinie brykietarek pracujących na zasadzie zwijania*. Maszynopis Nr PIMR-3717, PIMR Poznań.
- Kanafojski, Cz.; Karwowski, T. (1972). *Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T. 2, Maszyny do zbioru ziemiopłodów*. Warszawa, PWRiL.
- Kobr, Z.; Čermak, A.; Lanča, J. (1970). Poznatky z výzkumu briketovani píče svinovacim způsobem v ČSR. *Zemedelska Technika*, 10, 621-633.
- Lanča, J.; Čermak, A. (1971). Dalsi poznatky z výzkumu briketovani píče a nektere fyzikalne - mechanicke hodnoty briket vytvorených svinovanim. *Zemedelska Technika*, 10, 649-662.
- Olejnik, A. (1974). *Brykietowanie siana metodą zwijania. Teoria i konstrukcja*. Maszynopis Nr PIMR 4231, PIMR Poznań.
- Olszewski, T. (1973). *Dobór optymalnych parametrów zespołu brykietującego zielonki metodą zwijania*. Praca doktorska. Akademia Rolnicza w Poznaniu.
- Osobow, W.I.; Wasiljew, G.K.; Golianowskij, A.W. (1974). *Машины и оборудование для уплотнения сено-соломистых материалов*. Машиностроение, Москва.
- O'Dogherty, M.J. (1989). A review of the mechanical behaviour of straw when compressed to high densities. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 44(4), 241-265.
- Molitorisz, J.; McColly, H.F. (1969). Development and Analysis of the Rolling Compressing Wafering Process. *Transactions of the ASABE*, 12(4), 0419-0422.
- Smith, I.E.; Probert, S.D.; Stokes, R.E.; Hansford, R.J. (1977). The briquetting of wheat straw. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22(2), 105-111.

MOBILE AND ENERGY EFFICIENT MACHINE FOR BIOMASS HARVESTING AND COMPACTION WITH THE CURLING METHOD

Abstract. The aim of this work was to elaborate the construction of a mobile machine implementing the process of briquetting with the curling method. The SolidWorks computer software was used to design the construction of the mobile machine. As a result of the construction works, a machine attachable to the tractor field machinery was constructed. It consisted of seven main assemblies, which will be driven mechanically, hydraulically and electrically. A mechanical drive will be drawn with a tractor and transferred by the PTO. Moreover, hydraulic pumps will be driven from this box, which deliver hydraulic power to driving motors and servo-motors. The tractor electrical system will be powered by auxiliary drives. The expected capacity of the machine is approx. $1,5 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$, the power demand approx. 40 kW. The mobile machine developed in PIMR, which performs the process of briquetting of stalk materials with the curling method constitutes a part of activities to increase the use of straw for energy purposes.

Key words: mobile machine, construction, biomass, compaction, energy efficiency, briquetting with the curling method

Adres do korespondencji:

Florian Adamczyk; e-mail: adamczyk@pimr.poznan.pl.
Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
ul. Strołęcka 31
60-963 Poznań