



Różne możliwości przygotowania paliw z odpadów w formie stałej, uwzględniające ich kształt

Possibilities of preparing alternative fuels with selected shapes from solid waste

Iwona KUCZYŃSKA¹⁾

¹⁾ Dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydz. Górnictwa i Geoinżynierii, Katedra Ekologii Terenów Przemysłowych; Tel.: 048 12-617-21-65, e-mail: ikuczyn@agh.edu.pl

RECENZENCI: Doc. Ing. Františka MICHALÍKOVÁ, CSc.; Prof. dr hab. inż. Tadeusz PIECUCH

Streszczenie

Znaczna część powstających w coraz większych ilościach odpadów może stać się paliwami, po nadaniu im odpowiedniego kształtu i własności. W artykule omówiono różne formy i kształty jakie można nadać odpadom, począwszy od luźno uziarnionych, poprzez granulowane, brykietowane i belowane. Wskazano także urządzenia w których prowadzone są te procesy. Podano również konkretne przykłady odpadów, które – po nadaniu im odpowiedniego kształtu – mogą być wykorzystane jako paliwo alternatywne.

Summary

The majority of waste created in constantly growing amounts nowadays could become fuels, provided they are given a proper shape and features. The paper describes various forms and shapes that could be applied to waste, beginning from loosely grained, through granulated, briquetted to baled ones. Additionally, the author indicates devices, that carry out such processes. There also appear numerous examples of waste that having received proper shape, can be further used as an alternative fuel.

1. Wstęp

Na przełomie kilkudziesięciu ostatnich lat opracowano wiele technologii wytwarzania paliw zarówno z odpadów przemysłowych jak i komunalnych oraz użytkowych, w efekcie których otrzymuje się produkty posiadające wymaganą wartość opałową. Głównymi technologiami przetwarzania materiałów odpadowych na paliwo są:

- kompaktowanie: brykietowanie i granulowanie oraz belowanie,
- rozdrabnianie, zrębkowanie – czyli rozdrabnianie (np. odpadów drzewnych),
- kompostowanie i fermentacja.

Odpady przemysłowe, komunalne, osady ściekowe, biomasa, w ostatnich latach stały się bardzo ważnym towarem handlowym na rynku energii. Często ze względu na małą gęstość, dużą wilgotność oraz istotną wartość energetyczną na jednostkę objętości, są trudne do dystrybucji w swojej pierwotnej postaci. W związku z tym coraz więcej uwagi poświęca się problematyce ich ujednoczenia poprzez proces rozdrabniania, peletyzacji lub brykietowania. Procesy te mają na celu zmniejszenie wilgotności, a przez to zwiększenie wartości opałowej, oraz koncentrację tego paliwa w takiej formie, aby łatwo było go transportować i magazynować. Obecnie w większości przypadków proces grudkowania ciśnieniowego oraz brykietowania przeprowadza się w tych samych urządzeniach stosując jedynie wymienne matryce o zróżnicowanych średnicach otworów. Inną formą zagęszczania jest grudkowanie bezciśnieniowe.

1. Introduction

In the several past decades, many technologies were developed to produce refuse-derived fuels (RDF) from industrial, municipal waste and post-exploitation refuse, generating products characterised by a required calorific value. Key technologies applied in processing waste materials into fuel include:

- compacting, i.e. briquetting and granulating as well as baling,
- grinding and pruning (e.g. of wood wastes),
- composting and fermentation.

Industrial and municipal waste, sewage sludge and biomass have recently become important as commodities on the energy market. In many instances, because of their low density, high humidity and considerable energy value per volume unit, they are difficult to be marketed in their original form. In the light of the above, there are increasing efforts to make them homogenous through grinding, pelleting or briquetting. These processes are also performed to reduce the humidity of fuels, thus increasing their calorific value. In addition, the fuel is concentrated in a form, which facilitates its transport and storing. At present, the processes of pressure pelletizing and briquetting are carried out using, in most cases, the same machines. The only difference lies in application of interchangeable matrix heads with various diameters of holes. Non-pressure pelletizing should be mentioned as yet another form of compacting.

Bardzo często kształt finalnego produktu energetycznego dostosowuje się do konkretnych parametrów technicznych procesu, w którym mają być one stosowane. Inne czynniki wpływające na kształt gotowego materiału opałowego to:

- właściwości fizykochemiczne pierwotnego surowca (nie wszystkie materiały można zagęszczać lub rozdrabniać),
- urządzenia, które stosuje się do ich produkcji (kształt granulatu lub brykiety zależy od rodzaju matrycy lub kształtu komory zagęszczania).

Poniżej przedstawiono i omówiono najczęściej stosowane procesy przerobcze, w wyniku których produkowane są określone kształty paliw z odpadów, a które znalazły powszechne zastosowanie w przemyśle i w praktyce.

2. Paliwo w formie luźnych ziarn (rozdrobnione)

Paliwa alternatywne występują w bardzo różnej postaci: przetworzonej lub nieprzetworzonej. Każda czynność mająca na celu zmianę formy lub kształtu paliwa niesie ze sobą pewne koszty i dlatego, gdy jest możliwość wykorzystania nie przetwarzanych paliw, to są one stosowane na szeroką skalę w specjalnie do tego przygotowanych instalacjach. Takimi surowcami jest odpadowa biomasa powstająca z obróbki drewna np.: trociny i wióry oraz zrębki, które powszechnie się wykorzystuje. Aby efektywnie spalać tę postać materiału energetycznego w formie luźnych ziarn należy uwzględnić parametry techniczne pieca (odpowiednie komory i podajniki). Bardzo często materiały opałowe o dużych wymiarach poddaje się procesom rozdrabniania, w celu zmniejszenia wielkości pojedynczej cząstki surowca, gdyż w pierwotnej postaci nie można ich stosować w określonych typach instalacji. Wśród omawianych paliw w postaci materiału energetycznego w formie luźnych ziarn wyróżnia się: zrębki drzewne, pocięte opony itp. (Piecuch T., 2006, Wandrasz J., Wandrasz A., 2006).

Podstawowym problemem rozdrabniania odpadów drzewnych jest zrębkowanie, które polega na mechanicznym dzieleniu surowca na drobne kawałki o długości 10 -30 mm. Duże kawałki biomasy głównie drzewnej (gałęzie, konary) poddawane są mechanicznej obróbce z wykorzystaniem rębarek tarczowych, stosowanych do produkcji małych kawałków opałowych o wielkości od 12 do 35 mm lub rębarek bębnowych – powstają wówczas większe cząstki rozdrabnianego materiału od 10 do 50 mm. Rozdrobnione odpady wykorzystuje się w instalacjach przystosowanych do spalania węgla w postaci miału lub stosuje się jako dodatek do tradycyjnych paliw mineralnych. (www.biomasa.pl).

Innym, powszechnie stosowanym paliwem w postaci materiału energetycznego w formie luźnych

In many instances, the shape of final fuel is adjusted to specific technical parameters of the process, in which it will be utilized. Other factors affecting the shape of the finished RDF fuel include:

- physical and chemical properties of the primary raw material (not all materials can be compacted or ground),
- machines used in the production process (the shape of pellets or briquette depends on the type of matrix heads or shape of the compacting chamber).

The author describes below the most common processes of producing specifically shaped RDF that have found common industrial and domestic applications.

2. Fuels with loose grains – shredding techniques

There are various forms of alternative fuels, which were processed or non-processed. Each process aimed at altering the form or shape of the fuel is connected with certain costs. Therefore, whenever possible, unprocessed fuels are preferred and widely used in installations designated specifically for this purpose. Raw materials for unprocessed fuels include mainly the biomass resultant from wood processing, e.g. sawdust, chips and cuttings, which are commonly used. Effective incineration of such loose grains requires their adjustment to technical parameters of the incinerator (appropriate chambers and feeders). In many instances, heating material of a considerable volume is ground or cut to reduce the size of its particles, as they cannot be used in certain types of installations in their original form. The above-mentioned fuels with loose grains include beside tree cuttings other materials, e.g. car tires cut into pieces (Piecuch T., 2006, Wandrasz J., Wandrasz A., 2006).

The major difficulty in disintegrating wood waste is mechanical reducing the size of the raw material into small chunks 10-30 mm long. Large pieces of biomass, predominantly wooden biomass (tree twigs and branches), are mechanically processed with power chippers producing small-sized fuel pieces from 12 to 35 mm, or drum chippers producing larger chips of material sized from 10 to 50 mm. Chipped waste is used either directly in the facilities burning coal dust or can be added to traditional mineral fuels (www.biomasa.pl).

Another commonly used grain fuel is represented by worn out tires, which represent post-exploitation refuse. Preferably they should be used as a processed, i.e. shredded, chipped or ground

ziarn są rozdrobnione wyeksploatowane opony, będące odpadami użytkowymi. Korzystniej jest je wykorzystywać w formie rozdrobnionej (przetworzonej), niż w pierwotnej. Ponad dwie trzecie całej ilości opon przeznaczonych do przeróbki znajduje zastosowanie jako specjalny rodzaj paliwa, tj. Tire Derived Fuel TDF. Całe opony są szczególnie kłopotliwym paliwem, gdyż trudno ustabilizować warunki ich spalania w palenisku zbudowanym z myślą o innym rodzaju opału (drobnouziarnionym). Używanie takiego paliwa wymaga specjalnego dostosowania urządzeń energetycznych, a zwłaszcza palenisk i urządzeń ochrony atmosfery przed emisjami szkodliwych związków chemicznych. Dopiero zmniejszenie średnicy kawałków gumy poniżej 6 mm pozwala na ustabilizowanie warunków procesu spalania i pełną kontrolę emisji spalin. Paliwo wytworzone z odpadów gumowych, w tym również i opon, jest w Polsce wykorzystywane przede wszystkim w piecach cementowych. (www.oiler.pl)

3. Paliwa zagęszczane (kawałkowane)

Spalanie bardzo drobnych materiałów, podobnie jak i magazynowanie ich do spalania, jest niekorzystne i w niektórych sytuacjach niebezpieczne (np. magazynowanie pyłów drzewnych, które mogą ulec samozapłonowi). Dlatego też często zagęszcza się je do większych geometrycznych form jakimi są brykiety, grudki. Niektóre odpady także poddaje się przetworzeniu do innych form np.: słomę wykorzystuje się w postaci bel lub balotów, a osady ściekowe w postaci wyprasek. W takiej przetworzonej postaci odpadowe materiały o własnościach energetycznych znajdują szersze zastosowanie do wielu procesów technologicznych. W wyniku zagęszczania, poprzez np. sprasowanie surowca, powstają paliwa o lepszych parametrach energetycznych (wyższa wartość opałowa) niż odpad nieprzetworzony.

Zagęszczanie jest procesem bardzo złożonym. Surowiec jest wyciskany bądź przetłaczany przez matryce lub stożkowate tuleje, dzięki którym nie uformowany materiał nabiera pożądanego kształtu. Rezultatem jest gotowe paliwo znane pod nazwą brykietów lub pelet. Zagęszczony produkt energetyczny łatwiej jest transportować i magazynować niż luźno uziarniony odpad w pierwotnej postaci. Bardzo często sam proces technologiczny warunkuje, jaki wymiar i kształt powinien mieć brykiet lub granulát w nim stosowany (w piecu rusztowym nie zastosuje się drobno uziarnionego paliwa, aby nie przepadało ono przez ruszt). Kształt i wymiary grudek (pelet) oraz brykietów zależą od zastosowanego urządzenia, między innymi od rodzaju matrycy lub kształtu i wymiarów komory zagęszczania.

Wśród procesów zagęszczania wyróżnia się granulację (grudkowanie), brykietowanie i belowanie,

material than in their original form. Over two-thirds of the total volume of worn out tires designated for reprocessing is used to produce energy, being a special type of fuel (tire-derived fuel or TDF). Whole tires represent a particularly troublesome fuel material due to difficulties connected with stabilising conditions of their incineration in a furnace built for other type of fuel (fine-grained). Power-producing facilities, particularly furnaces and installations protecting the atmosphere against emissions of hazardous chemical compounds, must be adjusted to use the tyre-type of fuel. Only by reducing the diameter of rubber chunks below 6 mm can the incineration conditions be stabilised in the combustion process and full control of emitted combustion gases can be achieved. In Poland, fuel produced from rubber waste, mostly tires, is mainly used in cement-producing furnaces (www.oiler.pl).

3. Compacted (chunked) fuel

Incineration of very fine materials, similarly as their storing for incineration, is unfavourable and, in some cases, hazardous (e.g. storing of wooden dust, which may be subject to spontaneous ignition). For these reasons, the fine materials are often compacted to produce larger bodies with geometric shapes, such as briquettes and lumps. Furthermore, some waste is processed to other forms; e.g. straw can be used in the form of bales and ballots, whereas sludge waste as pressed lumps. In such a processed form, materials demonstrating energy-producing properties can be applied broadly in many technological processes. When compacted by pressing, they represent fuels characterised by better energy-producing parameters (higher calorific value) if compared to non-processed waste.

Compacting is a very complex process. The material is squeezed or pressed through matrix forms or cone-shaped sleeves to receive a desired shape. As a result of the process, chunk fuel known as briquettes or pellets is produced. Compacted fuel products can be handled easily in transporting and storing when compared to waste with loose grains as its original form. Often it is a technological process itself which sets prerequisites in terms of the size and the shape of briquettes or pellets used in incineration (fine-grained fuel cannot be used in a grate hearth as it will fall from the grate). Shapes, sizes and dimensions of pellets and briquettes depend on their producing devices applied, including the type of matrix heads or the form, shape and dimension of the compacting chamber.

Compacting processes include granulating (pelleting), briquetting and baling. Below there are pre-

które omówiono poniżej z wskazaniem przykładowych odpadów.

3.1. Granulat (pelety, granule, grudki) – proces peletyzacji

Granulaty, pelety mają lepsze parametry niż brykiety wytworzone z tego samego surowca (większy stopień zagęszczenia). (Hejft R., 1991). Surowcem do produkcji granulatów są trociny, wióry i zrębki, ale może to być również wydzielona ze strumienia odpadów komunalnych frakcja materiału o odpowiedniej wartości opałowej (substancja organiczna, papier, tkanina) oraz inne odpady mające odpowiednią wartość opałową i dające się przetwarzać. Nie wszystkie jednak odpady można poddać peletyzacji np.: słoma, która jest krucha i ma włóknistą strukturę, nie nadaje się do takiego formowania.

Wśród granulatów, które znalazły już praktyczne zastosowanie w przemyśle na szeroką skalę wyróżnia się:

1. *Granulat z trocin* produkowany z luźno uziarnionego, drobnego materiału, którym jest odpadowa biomasa drzewna (Rys. 1). Granulat ten jest wytwarzany na bazie trocin tartacznych o naturalnej wilgotności, które nie mogą być w pierwotnej (luźno uziarnionej) postaci kierowane do procesów spalania w większości palenisk. Aktualnie na rynkach krajowych i zagranicznych jest zapotrzebowanie na pelety o średnicach 6 i 8 mm.



Rys 1.
Pelety z trocin
Źródło: www.enbio.pl

2. *Granulat z odpadów komunalnych d-RDF (Refuse Derived Fuel)* (Rys. 2). Wydzielona frakcja o właściwościach energetycznych, jeżeli jest wykorzystywana na miejscu powstawania, może być w luźnej (surowej) formie poddawana

sented detailed descriptions of these processes with indication of sample waste they are customized to.

3.1. Granulates (pellets, granules, lumps) – pelletisation process

Granulates and pellets demonstrate better parameters than briquettes produced from the same raw material higher compactness; (Hejft R., 1991). Granulates can be produced from sawdust, chips and tree cuttings, but also can be a fraction of material with adequate heating properties (an organic substance, paper, fabric) separated from the stream of municipal waste as well as any other waste with adequate calorific value which can be processed. However, not all waste can be pelletised, e.g.: straw, with its fibrous structure and fragility, is not fit for such a forming.

Granulates, which have found a wide use in industrial practice, include in particular:

1. *Sawdust granulates* produced from loose, fine material, i.e. wood waste biomass (Fig. 1). This granulate is produced from lumberyard sawdust with natural humidity. In most furnaces the sawdust in its original form (loose grains) cannot be incinerated. At present, domestic and foreign markets show demand for pellets of 6 to 8 mm diameter.



Fig. 1.
Sawdust pellets
source: www.enbio.pl

2. *Municipal waste granulate (d-RDF – domestic refuse-derived fuel)* (Fig. 2). A separated fraction, which demonstrates energy-producing properties, if used on the site of its origination may be combusted in its loose (raw) form. In

spalaniu. Jeżeli otrzymane paliwo transportuje się, to konieczne jest poddanie go procesom zagęszczania do granulatu lub w niektórych przypadkach do brykiety.

the case when the fuel is transported, the material must be condensed to granulates or briquettes.



Rys.2.
Granulat z odpadów komunalnych tzw. d-RDF
Źródło: [http://ec.europa.eu/environment/waste/
studies/pdf/rdf.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf)

Fig.2.
d-RDF granulate
source: [http://ec.europa.eu/environment/waste/
studies/pdf/rdf.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf)

3. *Granulowane paliwo stałe (GPS)* ze smół porafinacyjnych jest przykładem paliwa, które produkowane jest przez łączenie smół porafinacyjnych z zanieczyszczonymi odpadami z przemysłu tekstylnego, papierniczego, gumowego i drzewnego. Wszystkie składniki mieszane są ze sobą w mieszalniku bębnowym i jeżeli istnieje możliwość wykorzystania ich na miejscu, to nie prowadzi się procesu granulacji, tylko spala w postaci półpłynnej emulsji. Jednak bardzo często tego rodzaju paliwo transportuje się na znaczne odległości i dlatego dla ułatwienia zagęszcza się go w grudkownikach (granulatorach) bezciśnieniowych. (talerzowych lub bębnowych, przedstawionych na rys. 4). Otrzymane paliwo powinno mieć wartość opałową od co najmniej 10 do 25 MJ/kg i wykorzystywane jest w piecach obrotowych lub w wysokotemperaturowych piecach rusztowych (Piecuch T., 2006, www.powiz.com.pl)

3. *Granulated solid fuel (GSF)* made on the basis of post-refining tars is an example of fuel produced by combining post-refining tars with contaminated waste from textile, paper, rubber and wood industries. All components are mixed in a drum mixer and, if it is only possible to use them on-site, their granulating is avoided and they are combusted in the form of a semi-liquid emulsion. However, frequently this type of fuel is transported over long distances and, to facilitate the transport, the fuel is compacted in non-pressure granulators (power or drum agglomerators), shown further in Figure 4. The fuel should have calorific value from at least 10 to 25 MJ/kg and is used in rotating furnaces and in high-temperature grid hearths (Piecuch T., 2006; www.powiz.com.pl).

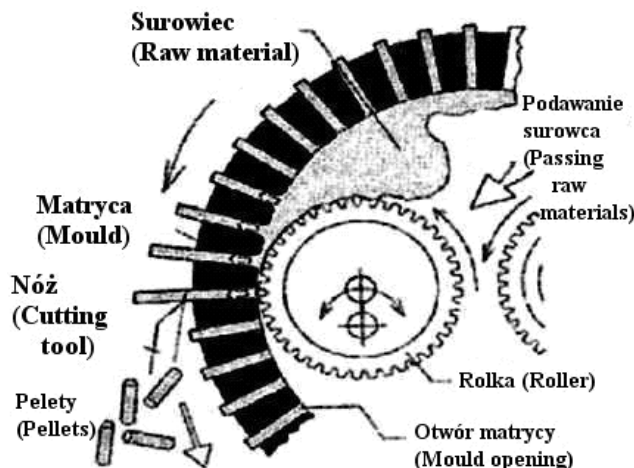
Elementem łączącym ten rodzaj paliw, jakim są pelety i granulaty jest proces peletyzacji, który odbywa się przy użyciu granulatorów ciśnieniowych, czyli pras rolkowych z perforowanymi matrycami. Zasada ich działania opiera się na odśrodkowym wyciskaniu materiału, np.: trocin przez otwory w cylindrycznej matrycy, za pomocą rolek wgniatających masę.

Both types of fuel, pellets and granulates, are subject to the process of pelletisation performed with the use of pressure granulators, i.e. roll presses with respectively perforated matrix heads. They operate by centrifugal pressing the material, e.g. sawdust, through the holes in a cylindrical working head by using rolls that press the mass (Fig. 3).

Na rysunku 3 przedstawiono schemat peletyzacji w prasie rolkowej.

Dimensions of holes in the matrix head controls the shape and the size of pellets resultant from the process; their shape is typically cylindrical (Serdyński B., 2003).

Wymiary otworów w matrycy decydują o kształcie i wielkości otrzymywanych pelet i najczęściej mają cylindryczny kształt. (Serdyński B., 2003).

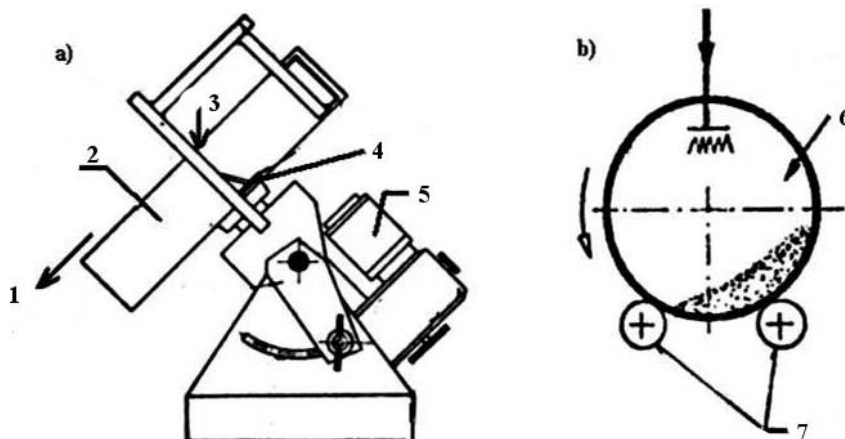


Rys. 3.
Schemat działania granulatora z matrycą pierścieniową
Źródło: Dzik T., Mięso R., 2004

Fig. 3.
Operating scheme of a granulator with a ring matrix
source: Dzik, Mięso, 2004

Innymi urządzeniami do produkcji granul (grudek) są granulatory (grudkowniki) bezciśnieniowe, jak np.: granulatory talerzowe lub bębnowe, w których proces grudkowania polega na łączeniu się poszczególnych ziarn materiału poprzez tzw. zbrylanie. Ruch obrotowy urządzenia grudkującego umożliwia przemieszczanie się cząstek materiału względem siebie. Poszczególne ziarna zlepiają się ze sobą pod wpływem dodawanych substancji wiążących. Wielkość i kształt utworzonych granul zależy od ziarnistości materiału wyjściowego, wilgotności (ilości lepiszcza, np. wody) oraz czasu prowadzenia procesu. (Kuczyńska I., 1978). Wśród grudkowników bezciśnieniowych najczęściej stosowane są granulatory talerzowe, bębnowe przedstawione na poniższym rysunku.

Other machinery used for production of granules (lumps) includes non-pressure granulators, e.g. power or drum granulators. In these machines, granulation process is based on agglutination of individual grains of the material through lumping. Particles of the material move when the granulating machine rotates and individual grains agglutinate when affected by added binding substances. The size and the shape of granules depend on the granularity of the feed material, humidity (the quantity of a binding agent, e.g. water) and the duration of the process (Kuczyńska I., 1978). The most commonly used non-pressure agglomerators include power and drum devices presented in Figure 4.



Rys. 4.
Grudkowniki bezciśnieniowe: a - granulator talerzowy b - granulator bębnowy
1-wilgotne granule, 2-materiał, 3-woda, 4-zgarniacz, 5-silnik elektryczny,
6-bęben grudkownia, 7-rolki toczne
Źródło: Kuczyńska I., 1978

Fig. 4.
Non-pressure agglomerators: a – power agglomerator b – drum granulator
1-damp granule, 2-material, 3-water, 4-scraper, 5-electric motor, 6-drum pelletizer, 7-roller support
source: Kuczyńska, 1978

3.2. Brykiety i proces brykietowania

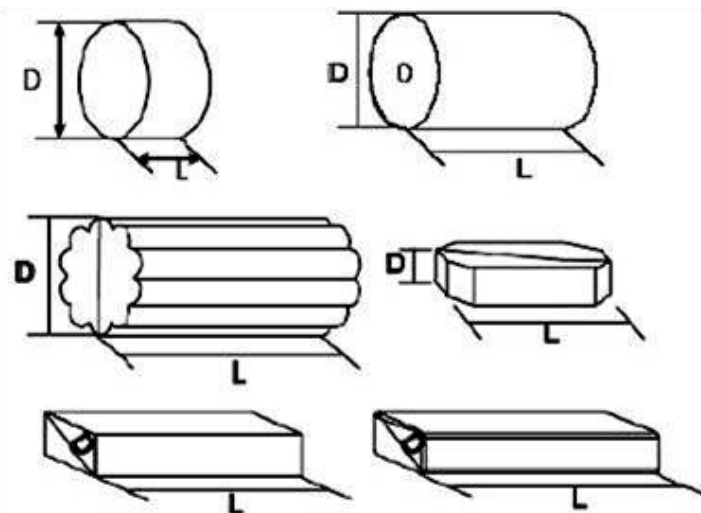
Procesom brykietowania mogą być poddawane wszystkie materiały odpadowe powstające na bazie biomasy, czyli trociny, zrębki drzewne i pyły drzewne, gdyż zawierają one w swoim składzie substancje kleiste (żywice), które pod wpływem temperatury uplastyczniają się i powodują sklejanie się drobnych cząstek biomasy. Czynniki wpływające na powszechność stosowania brykietów są podobne jak dla granulatu i innych materiałów zagęszczanych, a przede wszystkim względy techniczne instalacji energetycznych, w których są stosowane oraz właściwości fizyczne pierwotnego surowca.

Brykiet ma większe wymiary niż granulaty i dlatego często stosowany jest w domowych paleniskach i w małych kotłowniach, gdyż nie wymaga przeprowadzania zmian konstrukcyjnych paleniska.

Brykiet jest to prostopadłościan lub walec o podstawie w formie koła lub foremnego wieloboku wytworzony w prasach rotacyjnych lub tłokowych z drobnoziarnistego materiału, którego właściwości fizyczne umożliwiają poddanie go brykietowaniu. (Demianiuk L., 2001).

W Polsce nie ma opracowanych norm odnośnie wymiarów i kształtów brykietów, więc producenci najczęściej powołują się na niemiecką normę DIN 51731, która zawiera wymagania dotyczące brykietów, granulatów produkowanych głównie z odpadów drzewnych oraz zrębków drzewnych.

Poniżej przedstawiono informacje zawarte w wyżej podanej normie DIN 51731.



Rys. 5.
Przykładowe formy brykietów (D - średnica, L - długość)
Źródło: Wach E., www.ctpik.com

Według tej normy przekrój brykietu powinien posiadać geometryczną formę taką jak koło, kwadrat, wielokąt lub owal, co ma znaczenie podczas transportu i magazynowania. Kształt brykietu ściśle

3.2. Briquettes and briquetting process

All waste materials representing the biomass, i.e. sawdust, tree cuttings and dusts, may be subject to the briquetting process as they contain sticky substances (resins), whose plasticity increases when heated and results in gluing fine particles of the biomass. Factors affecting common use of briquettes are similar to those in the case of a granulate and other compacted materials and are based essentially on technical requirements of energy-producing installations, in which they are used, as well as physical properties of the original raw material.

In terms of its size, the briquette is larger than the granulate and, for this reason, it is often used in household furnaces and small boiler houses, as briquetting does not necessitate reconstruction or conversion of the furnace.

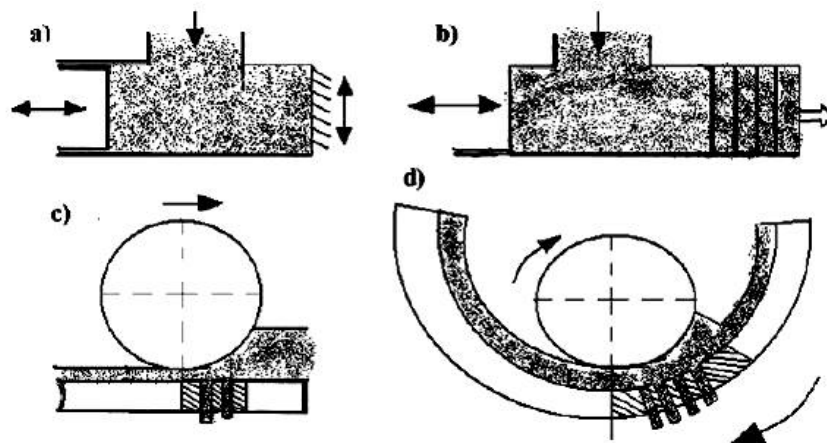
The briquette is a cuboid or a cylinder with its basis in the form of a circle or a regular polygon (Fig. 5) produced in rotary presses or ram balers from fine-grained material, whose physical properties make it fit for briquetting (Demianiuk L., 2001).

Poland lacks standards regarding shapes and dimensions of briquettes, so producers typically refer to and rely on the German standard DIN 51731, which contains requirements with respect to briquettes and granulates produced predominantly from wood waste and tree cuttings.

Fig. 5.
Typical forms of briquettes (D – diameter, L – length)
source: Wach, 2003; www.ctpik.com

According to the DIN 51731 standard, a cross-section of a briquette should have a geometric form such as a circle, a square, a polygon or an oval, which is substantial in transporting and storing

zależy od kształtu komory zagęszczania – najczęściej stosuje się cylindryczne lub prostopadłościenną komory o foremnym przekroju koła, kwadratu lub ośmiokąta. Brykietowanie przeprowadza się w dwóch podstawowych układach roboczych: w komorze zamkniętej i komorze otwartej (Rys. 6).



Rys. 6.
Sposoby brykietowania drobnopowidlowanych materiałów roślinnych: a – w komorze zamkniętej, b – w komorze otwartej, c – w układzie roboczym „płaska matryca - rolki prasujące”, d – w układzie roboczym „pierścieniowa matryca - rolki prasujące”
Źródło: Hejft R., 2001

briquettes. Shape of a briquette is closely dependent on the shape of the compacting chamber. Typically, cylindrical or cuboidal chambers are used with a regular cross-section of a circle, a square or an octagon. Briquetting is performed in two basic working systems: in a closed chamber and in an open chamber (Fig. 6).

Fig. 6.
Methods of briquetting fine-grained plant materials: a – in a closed chamber, b – in an open chamber, c – operating “flat matrix – pressing rolls”, d – operating “ring matrix – pressing rolls”
source: Hejft, 2001

Zagęszczanie w komorze zamkniętej

Jest to proces pozwalający na określenie podatności materiału na zagęszczanie, czyli na tworzenie trwałej geometrycznej formy o wymaganej wytrzymałości. Opór potrzebny do brykietowania materiału w komorze zamkniętej stanowi dno komory. Dodatkowy opór pochodzi z tarcia zewnętrznego pomiędzy zagęszczanym materiałem a ściankami kanału komory.

Zagęszczanie w komorze otwartej

Procesy przeprowadzane w urządzeniach z otwartą komorą znajdują szerokie zastosowanie w procesach brykietowania drobnopowidlowanych materiałów roślinnych wykorzystywanych do celów energetycznych, takich jak: pyły drzewne, trociny. Warstwa zagęszczanego wcześniej materiału stanowi opór dla pracy tłoka (spełnia funkcję „dna komory” jak w przypadku układów z komorą zamkniętą). (Demianiuk L., 2001)

Brykiety wytworzone w powyższych układach mają zróżnicowaną gęstość zarówno w przekroju poprzecznym jak i podłużnym. Lepsze efekty pod względem ujednoczenia gęstości oraz zwiększenia stopnia zagęszczenia uzyskuje się stosując brykietarki ślimakowe niż brykietarki komorowe.

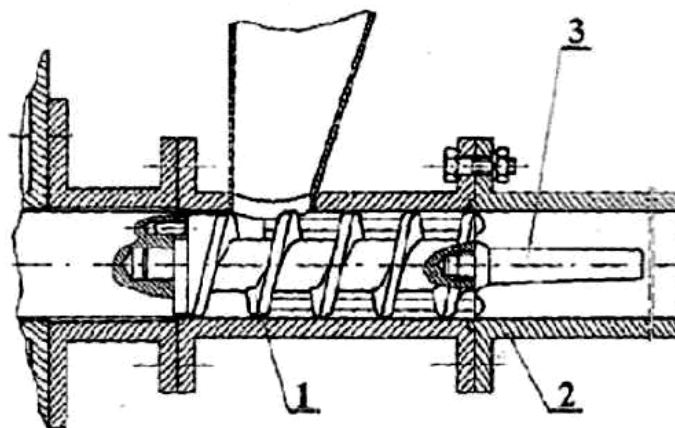
Compacting in a closed chamber

It is a process, which allows for defining how fit the material is for compacting, i.e. for forming a permanent geometric form of required strength. The resistance required for briquetting some material in a closed chamber is exerted by the bottom of the chamber. An additional resistance comes from external friction between the material being compacted and walls of the chamber channel.

Compacting in an open chamber

Processes carried out in open chamber devices are widely applied in briquetting fine-grained plant materials used for energy producing purposes, including tree dusts and sawdust. The layer of previously compacted material forms resistance to the work of a piston (acts as the “bottom of the chamber”) as in the case of systems with a closed chamber (Demianiuk L., 2001).

Briquettes produced in the above-described systems are characterised by various density, both length-wise and cross-wise. Screw presses are more effective than chamber presses in terms of homogenisation of the material and increasing its density.

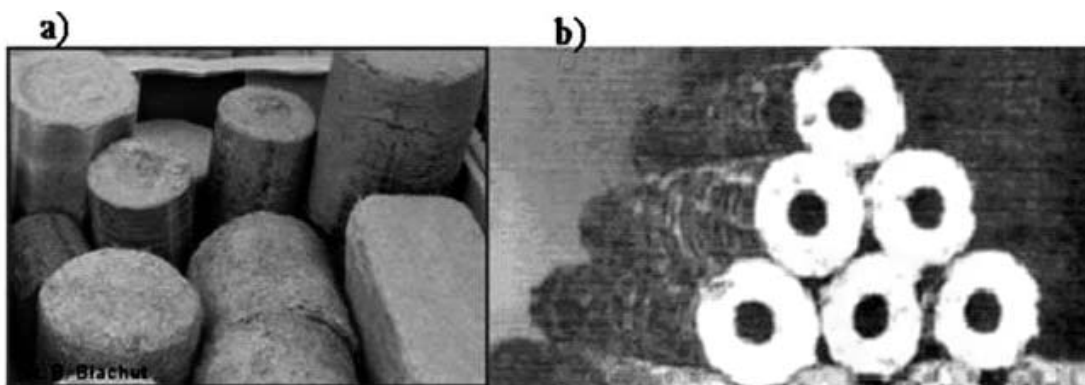


Rys.7.
Schemat układu roboczego brykociarki ślimakowej:
1 – ślimak , 2 – matryca, 3 – stożkowy trzpień
Źródło: Hejft R., 2002

Fig. 7.
A screw press:
1 – screw, 2 – matrix, 3 – conical mandrel
source: Hejft 2002

Brykiety z biomasy można produkować w brykociarkach ślimakowych (Rys. 7) i wtedy gotowy produkt może mieć kształt tzw. tulei lub walca (Rys. 8).

Biomass briquettes may be produced in screw presses (Fig. 7). In that case, the finished product usually has the shape of a cylinder or a tube (Fig. 8).



Rys. 8.
Brykiet z trocin z brykociarki ślimakowej
(a – walec b – tuleja)
Źródło: Hejft R., 2002, www.enbio.pl

Fig. 8.
Briquettes made from sawdust from a screw press
(a – cylindrical, b – tubes)
source: Hejft 2002; www.enbio.pl

Brykiety najczęściej spotykane na polskim rynku mają długość od 100 do 300 mm i przyjmują następujące kształty: (www.biomasa.pl)

- Brykiet w kształcie walca o średnicy 50 lub 53 mm (produkowany w maszynach starszych typów). Ten rodzaj brykietu produkowany jest w brykociarkach mechanicznych. Długość brykietu jest niejednorodna i wynosi od kilku do kilkunastu centymetrów, a podstawa walca jest nieregularna (Rys. 9a).
- Brykiet w kształcie walca o średnicy 30 do 80 mm, o regularnej bryle i długości zwykle kilkadziesiąt do kilkaset centymetrów (Rys. 9a). Brykiet taki powstaje poprzez sprasowanie określonej porcji surowca w brykociarce hydraulicznej.

The most common briquettes on the Polish market (Fig. 9) are 100 to 300 mm long and the division is based on their shapes (www.biomasa.pl):

- *Cylinder-shaped briquettes with a diameter of 50 or 53 mm* (produced in older types of machines). This type of briquette is produced in mechanical presses. Its length is not uniform and ranges from several to more than ten centimetres and the base of the cylinder is not regular (Fig. 9a).
- *Cylinder-shaped briquettes with a diameter of 30 to 80 mm*, with a regular body form and length from several dozen to several hundred centimetres (Fig. 9a). The briquette is produced by pressing a portion of the raw material in a hydraulic press.

- Brykiet *typu kostka* – stosowany najczęściej do opalania kominków (Rys. 9b).
- Brykiet *kominkowy* – zwykle ośmiokątny z otworem w środku lub bez otworu, produkowany jest w brykieciarkach ślimakowych (Rys. 9c).



Rys. 9.

Kształty brykietów z trocin sosnowych:

a – brykiet o kształcie walca z trocin mieszanych z drzew liściastych i iglastych, b – brykiet z trocin o kształcie kostki, c – brykiet ośmiokątny (brykiet z trocin sosnowych)

Źródło: www.enbio.pl www.biomasa.pl

- *Brick-shaped briquettes* – typically used for fireplaces (Fig. 9b).
- *Octagonal briquettes* – typical fireplace fuel with a hole in the centre or plain, produced in screw presses (Fig. 9c).

Fig. 9.

Sawdust briquettes available on the Polish market: a – cylinder-shaped sawdust briquettes (made of mixed broad-leafed and coniferous trees sawdust), b – brick-shaped sawdust briquettes, c – octagonal briquettes (made of pine sawdust)

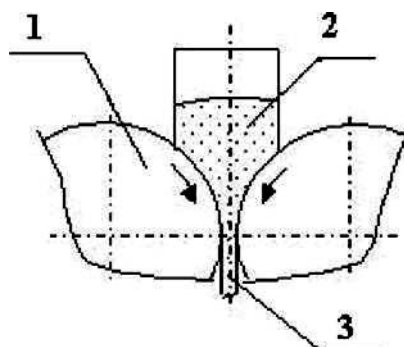
source: www.enbio.pl ; www.biomasa.pl

3.3. Wypraski (brykiety) z osadów ściekowych

Innym rodzajem brykietów są tzw. wypraski produkowane z odpowiednio przygotowanych i osuszonych osadów ściekowych, gdyż – ze względu na skład chemiczny i właściwości fizyczne – jest to bardzo dobry materiał energetyczny. Wykorzystanie osadów ściekowych jako paliwa zastępczego jest bardzo dobrą formą zagospodarowania tych odpadów, które w nieprzetworzonej postaci mogą stanowić zagrożenie biologiczne. Najczęściej do przetwarzania osadów ściekowych używane są prasy walcowe z dwoma walcami, które mają gładkie powierzchnie. Walce poruszając się współbieżnie powodując zagęszczanie materiału (Rys. 10).

3.3. Pressed briquettes from sewage sludge

Other briquette types are produced by appropriately prepared and dried sewage sludge as, because of their chemical composition and physical properties, they represent excellent fuel. The use of sewage sludge as alternative fuel is an advisable method of making the waste useful, because in its non-processed form the sludge may represent a biological hazard. Roll presses with two smooth-rolls are typically used for processing sewage sludge. The concurrently running rolls shape and compact the material (Fig. 10).



Rys. 10.

Schemat prasy walcowej o gładkich walcach
1 – walce o gładkiej powierzchni, 2 – materiał,
3 – zagęszczony materiał w formie wyprasek

Źródło: *Ferko B., 2006*

Fig. 10.

Scheme of the roll press with smooth rolls
1 – smooth-surfaced rolls, 2 – briquetted material,
3 – compacted material in the form of pressed briquettes)

source: *Ferko 2006*

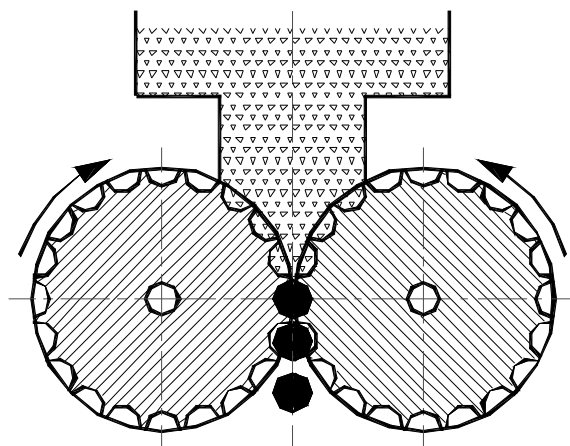
W prasie walcowej można regulować grubość powstających wyprasek poprzez zwiększanie lub zmniejszanie szczeliny pomiędzy dwoma obracającymi się walcami. Ponadto można wpływać na szerokość powstających wyprasek poprzez stosowanie walców o określonych, różnych szerokościach. O kształcie gotowych produktów decyduje powierzchnia robocza walca, tj. w przypadku walców gładkich powstają wypraski (Rys. 11), ale można również stosować walce z wyżłobionymi rowkami i wówczas produktem finalnym są brykiety, tzw. biszkopty. Natomiast przy stosowaniu walców roboczych z wyżłobionymi wgłębieniami powstają produkty kuliste, owalne lub tzw. siodełka bez płaszczyzny podziału (Rys. 12).

In a roll press, the thickness of briquettes (pressed parts) produced can be controlled by increasing or decreasing the gap between two rotating rolls. Furthermore, the width of the pressed parts can be changed applying rolls of various widths. The working surface of a roll affects the shape of finished products, i.e. in the case of smooth-surfaced rolls pressed parts are formed (Fig. 11); when using rolls with specific grooves, ball-, oval- or the so-called saddle-shaped can be manufactured (Fig. 12).



Rys. 11.
Wypraski z osadów ściekowych
Źródło: Kosturkiewicz B., 2005

Fig. 11.
Pressed parts made of sewage sludge
source: Kosturkiewicz 2005



Rys. 12.
Prasa walcowa o wyżłobionej powierzchni roboczej
Źródło: Kuczyńska I., 1978

Fig. 12.
Roll press with grooved working surface
source: Kuczyńska 1978

3.4. Proces belowania – bele ze słomy

Dobrym materiałem opałowym jest słoma, która ze względu na swoją formę występowania w postaci tzw. siewki nie nadaje się do bezpośredniego spalania w piecach i należy ją odpowiednio przygotować. Słomę zbożową nie można zbrykietować i zgranulować, gdyż jest krucha i ma włóknistą strukturę wewnętrzną, można ją belować w wyniku, czego powstają duże bele, baloty. Kształt bel ze słomy jest uzależniony od typu maszyn stosowanych w procesie (Rys.13). W zależności od kształtu komory prasowania, prasy dzieli się na tłokowe i zwijające – tak zwane rolujące. Różnica między nimi polega na tym, że materiał w prasach tłokowych jest formowany w postaci bel prostopadłościennych, a w prasach zwijających w postaci walców. Jeśli chodzi o strefę zgniotu to rozróżnia się prasy niskiego i wysokiego stopnia zgniotu. Zasada działania pras do belowania polega na tym, że rozdrobniona słoma w postaci siewki jest zbierana podajnikiem i kierowana do komory, gdzie zaczyna się obracać pod wpływem działania zespołu zwijającego, wyposażonego w specjalne pręty zwijające. Podawany materiał obracając się w komorze zaczyna przybierać określony kształt. Obracająca się bela zagęszcza dostającą się do środka słomę.



Rys. 13.
Bele ze słomy
Źródło: www.kape.pl

Bele słomy są doskonałym paliwem. Wyróżnia się cztery typy tych bel:

- małe bele (baloty) powstające podczas zbioru z zastosowaniem prasy zbierkowej wysokiego zgniotu. Baloty mają kształt prostopadłościanu o podstawie kwadratu o bokach 0,3 m i wysokości 0,5 m oraz masie ok. 10–15 kg. Mogą być używane do najmniejszych kotłów o mocy do 30kW, ale są rzadko stosowane,
- bele średnie o wymiarach 0,8×0,8×1,7 m i masie ok. 150 kg stosowane do ogrzewania pojedynczych bloków mieszkalnych kotłami o mocy od 35 do 99 kW,

3.4. Baling process – straw bales

Straw is an excellent heating material to produce fuel. As straw exists typically in the form of chaff, it is not fit for direct burning in furnaces and must be prepared appropriately for this purpose. Crop straw cannot be briquetted and granulated directly because of its brittleness, low strength and fibrous internal structure, but it can be baled into large forms, i.e. bales or balottes. The shape of straw bales (Fig. 13) is largely dependent on the type of machines used in the process. Depending on the shape of the pressing chamber, ram balers and roll balers can be distinguished. The difference between the two is that the material in the ram balers is formed in the shape of a cuboid, whereas it is roll-shaped in the roll balers. As regards the crush zone, there are low and high crush presses. Baling rams operate by collecting cut straw in the form of chuff with a feeder and directing it into a chamber, where the chuff rotates propelled by a rolling system equipped with special rolling rods. The feed material, by rotating in the chamber, begins to adopt a specific shape and a rolling bale formed compacts next portions of the straw fed into the chamber.



Fig. 13.
Straw bales
source: www.kape.pl

Straw bales make excellent fuel. There are four types of straw bales:

- Small bales (ballots) made during harvesting using a high-crush collector press. Ballots are cuboidal with a square base (0.3×0.3 m) and 0.5 m high, they weigh between 10 and 15 kg. Such bales may be used in the smallest boilers up to 30kW, but are not very popular,
- Medium-sized bales, with the size 0.8×0.8×1.7 m and weight of approximately 150 kg, used for heating individual blocks of flats (apartment buildings) in boilers from 35 to 99 kW,

- bele okrągłe duże o szerokości 1,2 m i średnicy 1,5 m oraz masie 200–300 kg, wykorzystywane do spalania w kotłach pracujących okresowo,
- bele Hesstona są to bele prostokątne o wymiarach 1,2×1,3×2,4 m i masie ok. 450 kg, wymagają stosowania specjalistycznych pras zbierakowych i są wykorzystywane do pieców o małej wydajności (*Gradziuk P., 2003, Jesionek J., Soliński I., 2004*).

4. Podsumowanie i wnioski

Zainteresowanie paliwami z odpadów pojawiło się już na początku lat siedemdziesiątych, kiedy to w wyniku kryzysu energetycznego zaczęto poszukiwać nowych materiałów opałowych, które mogłyby zastąpić podstawowe surowce energetyczne. Pozyskiwanie paliw możliwe jest przez przetworzenie odpadów na materiał o jednolitych właściwościach paliwowych, które można by magazynować przez dłuższy okres czasu, łatwiej transportować i spalać w piecach lub jako dodatek w paleniskach węglowych oraz w innych instalacjach. Dokonując wyboru technologii przetwarzania różnych rodzajów odpadów, biomasy i materiałów na paliwo należy kierować się zasadą BAT (najlepszą dostępną technologią), determinującą wybór technologii odpowiadającej najwyższemu dostępnemu poziomowi techniki i inżynierii ochrony środowiska. Różne procesy technologiczne, w których możliwe jest wykorzystanie paliwa produkowanego na bazie odpadów, charakteryzują się określonymi parametrami technicznymi, w związku, z czym nie we wszystkich technologiach każdy rodzaj paliwa z odpadów znajdzie zastosowanie. Warunki procesu technologicznego oraz własności surowca energetycznego będą decydować o rodzaju i formie produkowanego i stosowanego paliwa. I tak:

- Paliwa stałe mają różne kształty i wymiary, na które można wpływać poprzez zastosowanie odpowiednich urządzeń (grudkowniki, brykietarki – różne rodzaje matryc). Postać paliw z odpadów zależy od własności surowca pierwotnego, a mianowicie nie wszystkie rodzaje materiałów można poddać zagęszczaniu we wszystkich urządzeniach kompaktujących, co z kolei warunkuje ich kształt. Odpady z biomasy i substancji organicznych poddaje się granulacji lub brykietowaniu, słomę beluje się, gdyż ma włóknistą strukturę, a odpady z tworzyw sztucznych i gum poddaje się grudkowaniu bezciśnieniowemu.
- Odpady z biomasy poddaje się przetwarzaniu bez dodatku substancji spajających, gdyż zawierają one w swoim składzie lepiszcze, np.: żywice, które są bardzo dobrą substancją wiążącą.

- Large round bales, 1.2 m wide and with a diameter of 1.5 m, their weight is from 200 to 300 kg, used for burning in periodically operating boilers,
- Hesston's bales are perpendicular with sizes 1.2×1.3×2.4 m, their weight is approximately 450 kg, they require application of specialized collector presses and are used in low-capacity boilers (*Gradziuk P., 2003, Jesionek J., Soliński I., 2004*).

4. Summary and conclusions

Interest in refuse-derived fuels (RDF) dates back to early 1970, when, in consequence of an energy crisis, attempts were made to find new fuel materials that could replace the basic energy producing raw materials. Fuel can be produced by processing waste into material displaying uniform properties, which can be stored for a longer period of time, would be easy to transport and burn in boilers or used as an additive into charcoal furnaces and other power-producing installations. When choosing a technology of processing various types of waste, biomass and other materials into fuel, the BAT (Best Available Technology) principle should be followed, which determines selection of the technology that corresponds to the highest available standards of technological advancement and environmental protection engineering. There are some specific technical parameters in various technological processes, which can use RDF fuels. In connection with the above, not every type of the RDF fuel can be used in all technologies. Conditions of a technological process and properties of an energy-producing material will set the type and form of resultant fuel. Therefore, the following points should be taken into consideration:

- Solid fuels are of various shapes and sizes. These shapes and sizes may be obtained by application of appropriate machines (agglomerators, briquetters, exchangeable matrixes and forming heads, etc.). Forms of waste-derived fuels depend on properties of the original raw material, i.e. not all types of materials may be compacted in all compactors, which, in turn, affects the shape of RDF. Biomass and organic waste is subject to agglomeration and briquetting, straw is baled thanks to its fibrous structure, whereas plastic and rubber waste is subject to non-pressure agglomeration,
- Biomass-based waste is processed without adding any adhesives if its contain resins, which display excellent binding properties,
- If safe incineration of the biomass and waste in their non-processed form, e.g. tree cuttings, sawdust, tyres, is possible, compacting

- Jeżeli jest możliwe bezpieczne spalanie biomasy i odpadów w nieprzetworzonej formie, np. zrębków drzewnych, trocin to nie stosuje się procesów zagęszczania (względy ekonomiczne).
- W wyniku zagęszczenia materiałów w brykietkach i w granulacjach powstają paliwa o lepszych parametrach energetycznych (wyższa wartość opałowa) niż surowiec nieprzetworzony, łatwiej je transportować i magazynować.

Praca wykonana w ramach Badań Statutowych nr 11.11.100.124

processes are not applied (for economic reasons),

- By way of compacting materials in briquetters and agglomerators, fuels of better parameters for generating energy are produced (mainly with higher calorific value) when compared to non-processed raw material. They can also be more easily handled, transported and stored.

The paper was prepared as a part of the AGH-UST statutory research, grant no. 11.11.100.124.

Literatura — References

1. Demianiuk L., 2001, *Praca doktorska - Brykietowanie rozdrobnionych materiałów roślinnych*, Wyd. Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny.
2. Dzik T., Mięso R., 2004, *Granulacja do produkcji biopaliwa stałego z drewna*, Monografie AGH Problemy w budowie i eksploatacji wybranych maszyn i urządzeń technologicznych, nr.23, Wyd. AGH.
3. Ferko B., 2006, *Praca dyplomowa*, AGH, Kraków.
4. Gradziuk P., 2003, *Biopaliwa*, Wyd. Warszawa.
5. Hejft R., 1991, *Ciśnieniowa aglomeracja pasz i podstawy konstrukcji urządzeń granulująco-brykietujących*, Wyd. Politechnika Białostocka.
6. Hejft R., 2001, *Wykorzystanie odpadów pochodzenia roślinnego do celów energetycznych*, Materiały konferencyjne Recyklacja odpadu IV. Wydawnictwo VSB-TU, Ostrawa, 2001 s. 269-280.
7. Hejft R., 2002, *Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych*, Radom - Instytut Technologii Eksploatacji, Wyd. Politechnika Białostocka.
8. Jesionek J., Soliński I., 2004, *Biomasa – ekologiczne i odnawialne paliwo XXI wieku (Polityka Energetyczna tom 7, zeszyt 1,)*, Wyd. PAN (Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią).
9. Kosturkiewicz B., 2005, *Zagadnienie wykorzystania pras walcowych do zagospodarowania osadów ściekowych (Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, vol.39, nr.4)*.
10. Kuczyńska I., 1978, *Operacje pomocnicze w przeróbce kopaliny*, Skrypt Uczelniany Nr 647, Wyd. AGH.
11. Piecuch T., 2006, *Zarys metod termicznej utylizacji odpadów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Koszalińskiej.
12. Serdyński B., 2003, *Proces granulacji biomasy czyli jak powstają pelety*, (Ekotechnika 2/26/2003).
13. Wach E., 2003, *Jakość granulatu drzewnego. Normy, wymagania i właściwości*, Agencja Poszanowania Energii S.A., strona internetowa: www.ctpik.com.pl.
14. Wandrasz J.W., Wandrasz A.J., 2006: *Paliwa formowane. Biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych*. Wyd. Seidel – Przywecki, Warszawa.

Strony internetowe — Websites:

www.biomasa.pl

www.kape.gov.pl

www.enbio.pl

www.ec.europa.eu/environement/waste/studies

www.powiz.com.pl

www.paliwadrzewne.pl

www.oiler.pl