

Daniel Łuszczynski¹⁾, Wojciech Zeńczak¹⁾

TRANSPORT PNEUMATYCZNY PALIWA STAŁEGO DO KOTŁA W WARUNKACH MORSKICH

PNEUMATIC TRANSPORT OF SOLID FUEL TO BOILER IN MARINE CONDITIONS

STRESZCZENIE W artykule przedstawiono wstępną koncepcję badań dotyczących systemu transportu pneumatycznego paliwa stałego do kotła w warunkach morskich. Uzasadniono konieczność prowadzenia badań w aspekcie sytuacji energetycznej na świecie i możliwości wykorzystania alternatywnych paliw dla statków, także stałych, takich jak węgiel czy biomasa stała. Zawarto też przegląd rozwiązań instalacji transportu pneumatycznego oraz koncepcję budowy stanowiska badawczego wraz z planem pomiarów.

Słowa kluczowe:

siłownie okrętowe, transport pneumatyczny, paliwa stałe.

ABSTRACT This article presents an initial concept of investigations on a pneumatic transportation system of solid fuel to a boiler in marine conditions. It justifies the necessity to carry out investigations in the aspect of the worldwide energy situation and the possibilities of using alternative fuels in ships, including solid ones, such as coal or biomass. It also includes a review of solutions used in pneumatic transport installations as well as a concept of building a research stand together with a plan of measurements.

Keywords:

marine power plants, pneumatic transport, solid fuels.

DOI: 10.5604/0860889X.1139632

¹⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, 70-310 Szczecin, al. Piastów 17, e-mail: {daniel.luszczynski; wojciech.zenczak}@zut.edu.pl

WSTĘP

Obecna sytuacja energetyczna świata jest raczej stabilna, ale trzeba pamiętać, że zasoby nieodnawialnych źródeł energii systematycznie się zmniejszają. Coraz większe zapotrzebowanie na energię, związane z tym rosnące ceny paliw wykorzystywanych w transporcie i coraz bardziej rygorystyczne normy emisji spalin są powodem zintensyfikowania badań nad nowymi źródłami energii i substytutami paliw ropopochodnych. Dopóki nie zostaną opracowane nowe technologie ich wytwarzania i stosowania, konieczne może być wykorzystanie na statkach mniej popularnych źródeł energii, na przykład różnego rodzaju biopaliw, a także węgla. Należy także pamiętać o zasadzie inteligentnego dołączania odnawialnych źródeł energii. W dobie zmniejszających się światowych zasobów energetycznych zainteresowanie wykorzystaniem alternatywnych źródeł energii wyraźnie wzrasta.

Ciekłe paliwa ropopochodne łatwo zastąpić ciekłymi biopaliwami. Problem jednak w tym, że ich produkcja jest bardzo kosztowna, stwarzają problemy trybologiczne, nierzadko są toksyczne i wywołują korozję. Badania związane ze stosowaniem biopaliw ciekłych prowadzone są już od lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Efekty tych prac to między innymi budowa zbiornikowców dla Norwegii i Szwecji w stoczni Hyundai pod nadzorem DNV GL oraz przebudowa promu armatora Stena Line, który zasilany będzie metanolem [3, 6].

Inne możliwości stwarza biomasa stała. Jej niepodważalną zaletą jest przyjmowany za zerowy bilans emisji dwutlenku

INTRODUCTION

The present energy situation in the world is fairly stable but it must be remembered that the resources of non-renewable energy are steadily diminishing. Higher and higher demands for energy, and the rising prices of fuel used in transportation as well as stricter and stricter emission standards lead to intensification of research on new sources of energy, and oil-based substitutes. Until new technologies for their production and use are developed it may be necessary to use less common sources of energy in ships, e.g. various bio-fuels, as well as coal. The principle of intelligent addition of renewable sources of energy should also be borne in mind. In the age of diminishing world energy resources the interest in using alternative sources of energy visibly grows.

Liquid oil-based fuels can be easily replaced by liquid bio-fuels. However, the problem is that their production is very expensive, they cause tribological problems, are often toxic and develop corrosion. Research on the use of liquid fuels has been done since the 1980's. Building tankers for Norway and Sweden in the Hyundai shipyard under the supervision of GL and the conversion of a Stena Line ferry, which will be powered by methanol [3, 6] are some examples of this research.

Other possibilities are offered by solid biomass. Its unquestionable advantage is the balance of carbon dioxide emission during the burning process which is assumed as zero and the small amount of ash formed in the process.

węgla w czasie procesu spalania i niewielka ilość powstającego przy tym popiołu. Analiza literatury wykazała jednak brak badań związanych z transportem biopaliwa stałego do kotła w warunkach morskich. Badania dotyczące warunków transportu pneumatycznego ciał stałych prowadzono jedynie w warunkach stacjonarnych, nieuwzględniających zakłóceń tego procesu wskutek ruchu statku na fali [1].

Nieliczne, wybudowane w latach osiemdziesiątych statki przystosowane do spalania węgla wyposażone były w instalacje pneumatyczne do jego transportu z zasobni do kotła, jednak brakuje doniesień literaturowych na temat zmienności parametrów pracy tych instalacji w warunkach morskich. Znajomość charakterystyk pracy takiej instalacji w różnych warunkach pozwoli na lepsze jej zwymiarowanie i dobranie odpowiednich urządzeń na etapie projektowania. Uzasadnia to celowość przeprowadzenia badań z wykorzystaniem stanowiska z modelem fizycznym instalacji.

PALIWA STAŁE DLA STATKÓW

Czynnikami determinującymi możliwe wykorzystanie węgla lub paliwa stałego biogenego jako alternatywnego źródła energii do napędu statków są:

- zmniejszające się światowe zasoby ropy naftowej oraz gazu ziemnego;
- systematyczny wzrost cen płynnych paliw węglowodorowych;
- systematycznie rosnący popyt na ropę naftową i produkty ropopochodne.

The analysis of the available literature has shown, a lack of research on solid bio-fuel transportation to a boiler in marine conditions. Research on conditions for the pneumatic transportation of solid has been done only in stationary conditions, without taking into consideration disturbances in the process caused by ship movements on waves [1].

The few ships built in the 1980's, capable of burning coal, were equipped with pneumatic installations used for transportation from a bunker to a boiler. However, there is a shortage of literature reporting on changes in parameters of these installations in marine conditions. Knowledge of performance characteristics of such an installation in various conditions will allow for dimensioning positioning it better and selecting appropriate appliances at the design stage. This justifies the idea of carrying out research using a test bed with a physical model of the installation.

SOLID FUELS FOR SHIPS

The factors which determine possible use of coal or biogenic solid fuel as an alternative source of energy for ship propulsion are:

- diminishing world deposits of oil and natural gas;
- steady growth in price of liquid carbohydrate fuels;
- steady growth in demand for oil and oil-based products.

Dostępne światowe rezerwy energetyczne ropy według Międzynarodowej Agencji Energii IEA wynoszą około $5,964 \cdot 10^{21}$ J, natomiast potwierdzone rezerwy energetyczne gazu ziemnego $5,472 \cdot 10^{21}$ J [7]. Przyjmując wartość opałowu węgla średnio na poziomie 26 MJ/kg (w istocie waha się ona w zależności od zawartości wilgoci i mieści w przedziale 24–35 MJ/kg), jego zasoby energetyczne można oszacować na około $23,028 \cdot 10^{21}$ J [2].

Wartość opałowu i ciepło spalania są podstawowymi czynnikami decydującymi o jakości paliwa jako surowca energetycznego. Biomasa w postaci stałej (np. pelet) ma nieco mniejszą wartość opałowu od węgla i mieści się w przedziale 16,5–17,5 MJ/kg. Jest w niej natomiast zdecydowanie mniejsza zawartość siarki niż w innych znanych paliwach, a podczas jej spalania większa zasadowość popiołu jest przyczyną mniejszej emisji SO_2 [2]. Zaletą biomasy jest też to, że zawiera około czterokrotnie więcej tlenu oraz znacznie mniej azotu. Analizę techniczną dwóch potencjalnych paliw stałych dla statków przedstawia tabela 1.

Oil-based energy resources available in the world, according to the International Energy Agency (IEA), are estimated at approximately $5.964 \cdot 10^{21}$ J, whereas the confirmed reserves of natural gas-based energy at $5.472 \cdot 10^{21}$ J [7]. Assuming the net calorific value of coal as 26 MJ/kg on average (in fact it differs depending on the content of moisture and is in the range 24–35 MJ/kg), its energy-relating deposits can be estimated at approximately $23.028 \cdot 10^{21}$ J [2].

The net calorific value and gross calorific value are the main factors concerning the quality of fuel as energy material. Biomass in the solid form (e.g. pellet) has a little lower net calorific value, 16.5–17.5 MJ/kg. However, it contains much less sulfur than other known fuels, and in the course of burning the higher alkalinity of its ash results in lower SO_2 emission [2]. The advantage of biomass is also the fact that it contains approximately four times more oxygen and much less nitrogen. Table 1 presents a technical analysis of two potential solid fuels for ships.

Tabela 1. Analiza techniczna wybranych rodzajów paliw stałych [4]

Table 1. A technical analysis of some type of solid [4]

Rodzaj paliwa Type of fuel	Wartość opałowu Net calorific value [MJ/kg]	Wilgotność Humidity [%]	Gęstość nasypowa Bulk density [kg/m ³]	Zawartość siarki Kontent of sulfur [%]	Popiół Ash [%]
węgiel kamienny hard coal	32–35	1–18	800–1000	0,95	8,25
pelet pellet	16,5–17,5	3,6–12	650–700	0,02–0,23	0,4–1,0

Jak wynika z danych zawartych w tabeli, masa zapasu peletu musiałaby być około dwukrotnie większa od masy zapasu węgla kamiennego dobrej jakości, przy założeniu tego samego zasięgu statku. Istotna jest także objętość zapasu paliwa, która niekorzystnie wypada dla peletu, szczególnie w przypadku porównania z równoważną pod względem energetycznym objętością oleju napędowego. Wymagana objętość zbiorników zapasowych dla oleju napędowego byłaby ponad trzykrotnie mniejsza niż dla peletu. Stąd wniosek, że statek, na którym paliwem byłby pelet, powinien mieć nieduży zasięg projektowy, jak statek typu rzeka-morze [9].

PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ INSTALACJI TRANSPORTU PALIW STAŁYCH NA STATKACH

Na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej stwierdzono, iż w pierwszej połowie lat osiemdziesiątych XX wieku na statkach były stosowane różne instalacje transportu paliw stałych. Podstawowe trzy rozwiązania to:

- instalacja mechaniczna;
- instalacja pneumatyczna;
- instalacja mieszana (mechaniczno-pneumatyczna).

W instalacji mechanicznej w celu minimalizacji drogi transportu zaleca się, by zasobnie główne z paliwem stałym były umieszczone jak najbliżej zasobni dziennej, dzięki czemu urządzenia instalacji transportu zajmują mniej miejsca, mają mniejszą masę i poprawia się stateczność statku. Węgiel transportowany jest z zasobni głównej do dziennej przy

As it follows from the data showed in the table, the mass of pellet in stock should be approximately twice larger than the mass of good quality hard coal in stock, assuming the same cruising range of the ship. The volume of fuel in stock is also important and a comparison is unfavorable for pellet, especially if it is compared with the corresponding volume of propulsion oil in relation to produced energy. The required volume of spare containers would be three times smaller for oil than for pellet. Hence, the conclusion is that a ship powered with pellet should be designed for short ranges, such as a river and coastal work [9].

A REVIEW OF INSTALLATIONS USED FOR TRANSPORTING SOLID FUELS IN SHIPS

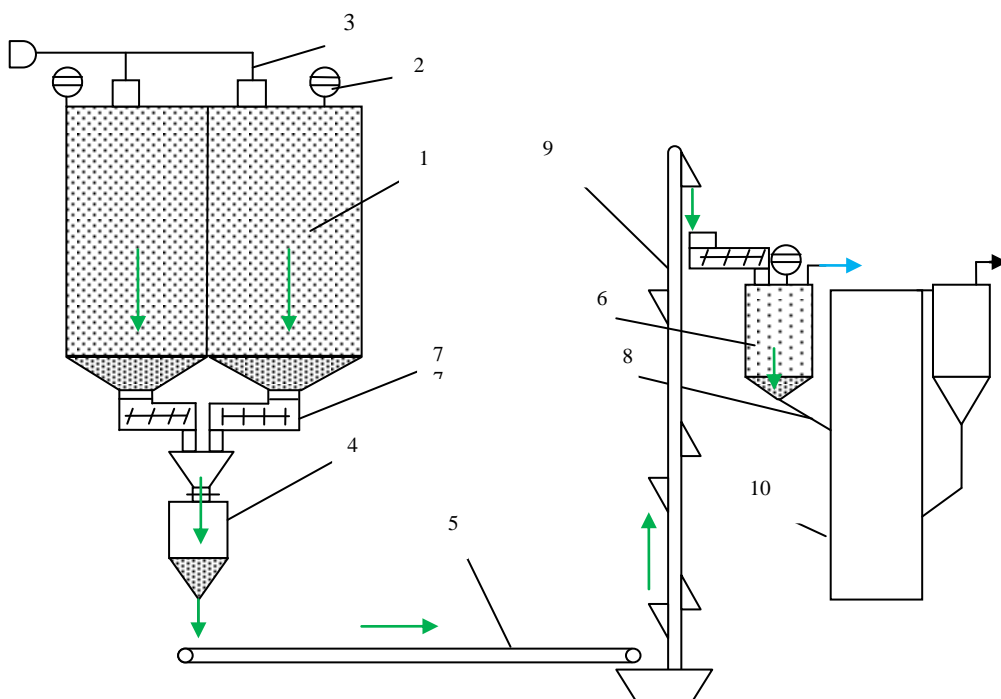
Based on the analysis of the available literature it has been found that in the first half of the 1980's various installations were used for transporting solid fuels in ships. The main three installations are:

- mechanical installation;
- pneumatic installation;
- combined installation (mechanical-pneumatic).

In order to minimize the transportation distance it is recommended that, in the case of a mechanical installation, main fuel bunkers be located as close to a day bunker as possible. Thanks to this transportation installation, its elements occupy less space and have lower mass, which improves ship stability. Coal is transported from the main bunker to

użyciu przenośników taśmowych, następnie pionowymi kubłowymi podnośnikami hydraulicznymi do przenośników ślimakowych i dalej do zasobni dziennej. Z zasobni dziennej do komory spalania dostarczany jest grawitacyjnie. Na rysunku 1. przedstawiono schemat mechanicznej instalacji transportu paliw stałych.

the day bunker by means of belt conveyers, and then by means of hydraulic vertical bucket hoists to helical conveyers, and then to the day bunker. It is delivered from the day bunker to the combustion chamber gravitationally. Figure 1 presents a diagram of a mechanical installation used for transporting solid fuels.



Rys. 1. Schemat mechanicznej instalacji podawania paliwa stałego do kotła fluidalnego:
 1 — zasobnia węgla, 2 — czujnik poziomu materiału, 3 — linia zaopatrywania w paliwo,
 4 — podajnik komorowy, 5 — przenośnik taśmowy, 6 — zasobnia dzienna, 7 — przenośnik ślimakowy, 8 — podajnik grawitacyjny, 9 — przenośnik kubełkowy, 10 — kocioł fluidalny

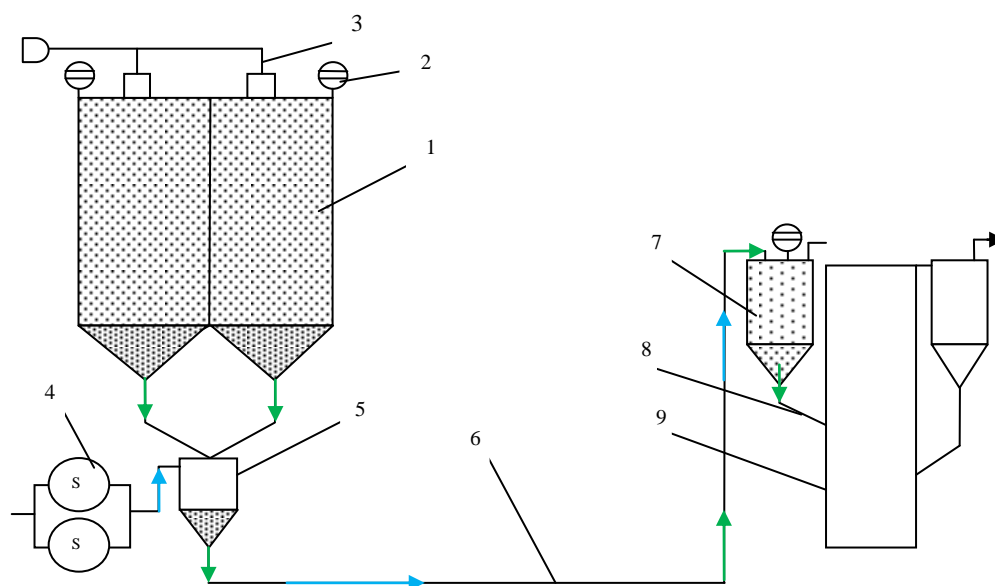
Fig. 1. A diagram of a mechanical installation for delivering solid fuel to a fluidal boiler:
 1 — coal bunker, 2 — material level sensor, 3 — fuel delivery line, 4 — chamber feeder, 5 — belt conveyor, 6 — day bunker, 7 — helical conveyor, 8 — gravitational feeder, 9 — bucket conveyor, 10 — fluidal boiler

W skład pneumatycznej instalacji transportu paliwa stałego wchodzi: rurociągi, śrubowe sprężarki powietrza, podajnik komorowy, filtry powietrza, zespoły

A pneumatic solid fuel transportation installation consists of: pipelines, screw air compressors, a chamber conveyor, air filters, sets of sensors for pressure

czujników ciśnienia oraz przepływu. Paliwo z zasobni głównej zsypywane jest grawitacyjnie do dwóch zbiorników transportowych, a po ich napełnieniu następuje mechaniczne zamknięcie zsypu zasobni. Po doprowadzeniu do zbiornika sprężonego powietrza wskutek różnicy ciśnień paliwo przemieszcza się do zasobni dziennej. Ciśnienie powietrza w stosowanych rozwiązaniach wynosiło 0,7 MPa, a zużycie energii przez sprężarki dla typowego pięćdziśięciometrowego odcinka 2,7 kWh/Mg [5]. Z zasobni dziennej paliwo podawane jest do kotła z wykorzystaniem podajnika grawitacyjnego. Na rysunku 2. przedstawiono schemat pneumatycznej instalacji transportu paliw stałych.

and flow. The fuel is gravitationally chuted from the main bunker to two transportation containers and, once they have been filled, the bunker chute is mechanically closed. After delivering compressed air to the container the fuel travels to the day bunker as the result of the difference in pressure. The air pressure in the installations used was 0.7 MPa, and the use of energy by the compressors for a typical 50 meter long section was 2.7 kWh/Mg [5]. Figure 2 presents a diagram of a pneumatic solid fuel transport installation.

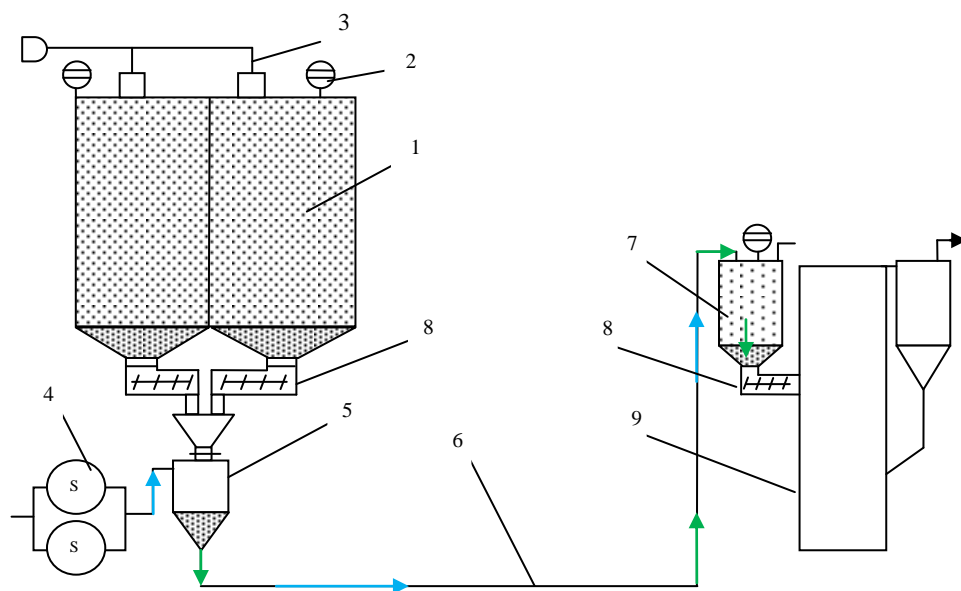


Rys. 2. Schemat pneumatycznej instalacji podawania paliwa stałego strumieniem przerywanym do kotła fluidalnego: 1 — zasobnia węgla, 2 — czujnik poziomu materiału, 3 — linia zaopatrywania w paliwo, 4 — sprężarka powietrza, 5 — podajnik komorowy, 6 — linia zaopatrywania zasobni dziennej w paliwo, 7 — zasobnia dzienna, 8 — podajnik grawitacyjny, 9 — kocioł fluidalny

Fig. 2. A diagram of a pneumatic installation used for intermittent flux delivery of solid fuel to a fluidal boiler: 1 — coal bunker, 2 — material level sensor, 3 — fuel delivery line, 4 — air compressor, 5 — chamber conveyor, 6 — line of fuel delivery to a day bunker, 7 — day bunker, 8 — gravitational conveyor, 9 — fluidal boiler

Instalacja mieszana jest połączeniem instalacji mechanicznej i pneumatycznej. Stosuje się ją na statkach, gdzie wysokość zasobni głównych jest zbyt mała, by umieścić pod nimi duże urządzenia instalacji transportu. W związku z tym stosuje się na przykład połączenie przenośników ślimakowych i rurociągów do transportu pneumatycznego oraz zamknięte przenośniki łańcuchowe lub podnośniki kubełkowe. Paliwo stałe do zasobni dziennej może być transportowane pneumatycznie lub z wykorzystaniem podnośników kubełkowych. Transport z zasobni dziennej do kotła również może się odbywać przy użyciu podajników ślimakowych lub przenośnika grawitacyjnego. Na rysunku 3. przedstawiono schemat mieszanej okrętowej instalacji transportu paliw stałych.

A combined installation is a combination of a mechanical and a pneumatic installation. It is used on ships where the height of the main bunkers is too low to locate large transportation installation elements under them. Therefore a combination of, for example, helical conveyers and pipelines for pneumatic transportation is used as well as closed chain conveyers or bucket hoists. The fuel can be transported to the day bunker pneumatically or by using bucket hoists. The transportation from the day bunker to the boiler can also be done using helical conveyers or a gravitational conveyer. Figure 3 presents a diagram of a combined marine installation for transporting solid fuels.



Rys. 3. Schemat mieszanej instalacji podawania paliwa stałego do kotła: 1 — zasobnia paliwa, 2 — czujnik poziomu materiału, 3 — linia zaopatrzenia w paliwo, 4 — sprężarka, 5 — podajnik komorowy, 6 — linia zaopatrzenia zasobni dziennej w paliwo, 7 — zasobnia dzienne, 8 — podajnik ślimakowy, 9 — kocioł fluidalny

Fig. 3. A diagram of a combined installation for solid fuel delivery to a boiler: 1 — fuel bunker, 2 — material level sensor, 3 — fuel delivery line, 4 — compressor, 5 — chamber conveyor, 6 — line of fuel delivery to day bunker, 7 — day bunker, 8 — helical conveyor, 9 — fluidal boiler

Biorąc pod uwagę takie cechy instalacji, jak wydajność, niezawodność, koszt budowy i utrzymania, a także energochłonność, za rozwojową należy uznać instalację pneumatyczną. Została ona sprawdzona w praktyce na statkach opalanych węglem i może się sprawdzić także przy zastosowaniu peletu.

KONCEPCJA BADAŃ INSTALACJI TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO PALIWA STAŁEGO W WARUNKACH MORSKICH

Celem badań eksperymentalnych będzie potwierdzenie hipotezy, że ruchy statku na fali mają wpływ na parametry transportu pneumatycznego paliwa stałego z zasobni do kotła. W badaniach prowadzonych przy różnych okresach ruchu wahadłowego platformy T z umieszczoną na niej instalacją zbiór P_k mierzonych wielkości fizycznych w trakcie k -tej serii będzie przedstawiał się następująco:

$$P_k = \{w_{pk}, t_{pk}, \Delta p_{pk}, T_k, \tau_k, m_k\}, \quad (1)$$

gdzie:

- w_p — prędkość przepływu powietrza / air flow speed;
- t_p — temperatura powietrza / air temperature;
- T — okres wahań platformy / time of platform swinging;
- t — czas transportu porcji paliwa / time of transportation of fuel portion;
- m — masa transportowanej porcji paliwa / mass of transported fuel portion.

Różnica ciśnień i czas transportu w każdej serii będą wielkościami wyjściowymi. Poprzez wymianę niektórych odcinków instalacji analizowany będzie również wpływ długości instalacji i średnicy

Taking into consideration such properties of an installation as efficiency, reliability, cost of building and maintenance, and energy consumption a pneumatic installation should be recognized as prospective. It has been tested in practice in ships using coal and it can be tested positively when pellet is used.

THE CONCEPT OF RESEARCH INVESTIGATIONS ON A SOLID FUEL PNEUMATIC TRANSPORTATION INSTALLATION IN MARINE CONDITIONS

The aim of experimental research investigations will be to prove the hypothesis that motions of a ship on waves exert an effect on the parameters of pneumatic transportation of solid fuel from a bunker to a boiler. In the investigations conducted with swinging motion of the platform T , for various periods with the installation placed on it, the set P_k of the physical magnitudes measured in the course of the k -th series will be as follows:

where:

The difference in pressure and transportation time in each series will be the initial magnitudes. Some sections of the installations will be replaced in order to analyze the effect of the installation

wewnętrznej rurociągu na spadek ciśnienia. Do pomiarów wykorzystane zostaną między innymi cyfrowy manometr różnicowy i termoanemometr cyfrowy.

BUDOWA STANOWISKA BADAWCZEGO

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 4. Składa się ono z umieszczonej na podstawie platformy, na której usytuowana jest dmuchawa promieniowa napędzana elektrycznie lub sprężarka wyporowa oraz cała instalacja. Platforma na obu końcach jest ułożyskowana. Ruch wahadłowy platformy jest możliwy dzięki zastosowaniu siłownika napędzanego silnikiem elektrycznym z możliwością regulacji prędkości i amplitudy ruchu posuwisto-zwrotnego. Przy zastosowaniu takiego rozwiązania możliwe jest osiągnięcie zmiany częstotliwości wahań platformy oraz kąta wychyleń bocznych. Ze względu na konieczne uproszczenia, platforma może symulować dwa rodzaje ruchów oscylacyjnych instalacji: kołysania boczne oraz kiwanie — po obróceniu o 90° względem podstawy [7]. Wymienne rury transportowe o różnych długościach i średnicach wykonane są z polichlorku winylu. W górnej części instalacji zamontowane są dwa zbiorniki, pomiędzy którymi realizowany jest transport materiału sypkiego imitującego paliwo stałe. Dane pomiarowe z przyrządów są zapisywane na dysku twardym komputera.

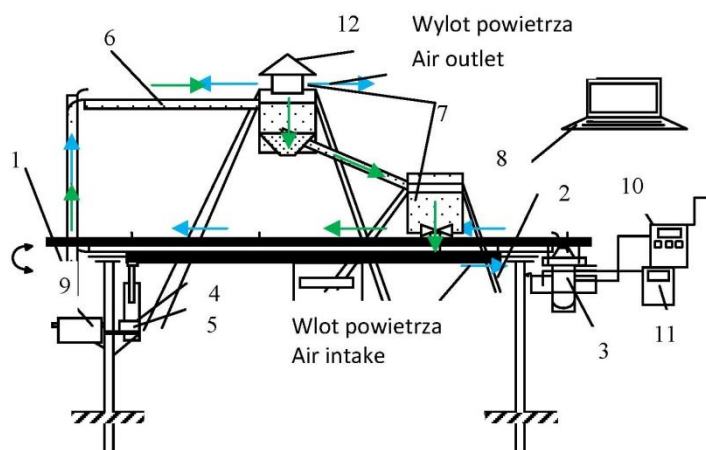
Wykonanie serii próbnych eksperymentów poza platformą (instalacja nieruchoma) z użyciem ziaren maku i pszenicy pozwoliło na ostateczne zwymiarowanie stanowiska oraz sformułowanie wniosków do dalszych badań.

length and the inner diameter of the pipeline on the decrease in pressure. A digital differential manometer and a digital thermo-anemometer will, among others, be used to carry out the measurements.

THE DESIGN OF THE TEST BED

The diagram of the test bed is presented in figure 4. It is composed of the mount. The platform is placed on it. The electrically-driven blower or a positive-placement compressor is placed the platform. The platform has bearings at each end. The swinging motion of the platform is possible owing to the use of the servo-motor driven by the electric motor which has a control function over speed and reciprocal motion amplitude. Applying this solution it is possible to obtain a change in the platform swinging frequency and side swings. For the purpose of simplification the platform can simulate two kinds of installation oscillation motion: roll and pitch — after it is turned by 90° in relation to the mount [7]. The replaceable transportation pipes of various lengths and diameters are made of polyvinyl chloride. In the upper part of the installation installed are the two containers. Loose material, imitating solid fuel, is transported between them. Measurement data from the measuring instruments are recorded on a high drive of the computer.

Carrying out a series of tentative experiments outside the platform (stationary installation) using poppy and wheat grains finally allowed for dimensioning the bed and formulating conclusions for further investigations.



Rys. 4. Stanowisko badawcze instalacji do transportu pneumatycznego paliw stałych: 1 — podstawa platformy, 2 — platforma, 3 — dmuchawa promieniowa, 4 — siłownik elektryczny, 5 — silnik elektryczny, 6 — rury transportowe, 7 — zbiorniki, 8 — komputer przenośny, 9 — zasilacz, 10 — manometr różnicowy, 11 — termoanemometr, 12 — cyklonowy wylot powietrza

Fig. 4. Test bed for pneumatic transportation installation of solid fuels: 1 — platform mount, 2 — platform, 3 — radial blower, 4 — servo-motor, 5 — electric motor, 6 — transportation pipes, 7 — containers, 8 — portable computer, 9 — feeder, 10 — differential manometer, 11 — thermo-anemometer, 12 — cyclone air outlet

WNIOSKI KOŃCOWE

Próbné eksperymenty potwierdziły słuszność założeń konstrukcyjnych przyjętych do budowy stanowiska. Stwierdzono, że w warunkach stacjonarnych, po zmianie geometrii instalacji i kąta nachylenia odcinków pionowych mających wpływ na wysokość tłoczenia oraz przy użyciu dostępnych przyrządów pomiarowych różnice w spadku ciśnień podczas transportu ziaren maku są trudne do uchwycenia. Konieczne będzie wyposażenie stanowiska w aparaturę pomiarową lepszej klasy i użycie innych materiałów sypkich. Celowe będzie także zastąpienie niektórych odcinków rur PCV rurami przezroczystymi z poliwęglanu, co pozwoli na obserwację procesu transportu oraz identyfikację miejsc ewentualnego tłokowania materiału.

FINAL CONCLUSIONS

The tentative experiments proved the correctness of the assumptions made in relation to the design of the test bed. It was found out that in stationary conditions it was difficult to record differences in pressure decrease in the course of poppy grain transportation after the installation geometry and the inclination angle of vertical sections having an effect on the height of pressing was changed and when available measuring instruments were used. It will be necessary to equip the test bed with measuring instruments of better class and use other loose materials. It will be justifiable to replace some sections of PCV pipes for transparent pipes made of polycarbonate, which will allow for observing the transportation process and identifying places of an eventual pressing on the material.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Chaniecki Z., Grudzień K., Romanowski A., Sankowski D., *Wyznaczenie charakterystyki instalacji transportu pneumatycznego materiałów sypkich przy zastosowaniu dwupłaszczyznowego systemu tomografii pojemnościowej*, 'Automatyka', 2009, Vol. 13, No 3, pp. 1257–1267 [Determining characteristics of pneumatic transportation installation of loss materials using a double-plane capacitance tomography system — available in the Polish].
- [2] Gierasimczuk A., Lewandowski W., Jordan A., *Możliwości wykorzystania biomasy do celów energetycznych*, 'Energetyka i Ekologia' 2009, No 9, pp. 710–711 [Possibilities of using biomass for energy production — available in the Polish].
- [3] *Klassifizierung von Methanol-Betriebenen Tankern*, 'Hansa', 2014, No 5.
- [4] Niedziółka I., Zuchniacz A., *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, 'Motrol', 2006, 8A, pp. 233–234 [Energy-based analysis of some type of biomass of plant origin — available in the Polish].
- [5] *Piped coal*, 'Shipbuilding & Marine Engineering International', 1981, No 3, pp. 61–62.
- [6] *'Stena Germanica' erhält Methanol-Antrieb*, 'Schiff & Hafen', 2014, No 9, pp. 235.
- [7] *World Energy Outlook*, 'IEA', 2013, pp. 37, 62, 84–85.
- [8] Zeńczak W., *Problemy projektowania siłowni okrętowych w aspekcie sytuacji energetycznej na świecie*, ZUT, Szczecin 2010 [Issues in designing a marine power plant in relation to the energy situation in the world — available in the Polish].
- [9] Zeńczak W., *The Concept of Ship's Power Plant Arrangement Involving Biomass Fired Boiler*, 'Journal of Polish CIMAC', 2010, Vol. 5, No 1, Energetic Aspects, pp. 205–212.