

Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej

BUDOWA I EKSPLOATACJA MASZYN

Zeszyt 9



Wydawnictwo Politechniki Białostockiej

Białystok 2002

Redaktor naukowy:
dr hab. inż. Roman Hejft, prof. PB

Recenzenci:

prof. zw. dr hab. inż. Eustachy S. Burka – 23
prof. dr hab. inż. Józef Flizikowski – 27, 28, 29, 41
prof. zw. dr hab. inż. Karol Grudziński – 4, 20
dr hab. inż. Roman Hejft, prof. PB – 5, 7, 8, 14, 17, 26, 49, 51, 54, 56
dr hab. inż. Marek Hryniewicz, prof. AGH – 6, 13, 36
prof. dr hab. inż. Jan Kiciński – 9, 38, 53
dr hab. inż. Henryk Komsta, prof. PL – 3, 11, 35
prof. dr hab. inż. Kazimierz Mielec – 18, 22, 48
prof. zw. dr hab. inż. Jarosław Mikielewicz – 44
dr hab. inż. Krzysztof Molski, prof. PB – 1, 2
prof. dr hab. inż. O. Niekoz – 21, 50
dr hab. inż. Marek Opielak, prof. PL – 24, 31, 47
dr hab. inż. Walenty Osipiuk, prof. PB – 10, 25, 52
dr inż. Kazimierz Peszyński – 46
prof. dr hab. inż. Stanisław Pytko – 19
dr hab. inż. Franciszek Siemieniako, prof. PB – 30, 33
dr hab. inż. Ireneusz Soliński, prof. AGH – 12, 42, 43
dr hab. inż. Włodzimierz Świdorski, prof. PŁ – 32, 55
prof. dr hab. inż. Jan Szlagowski – 15, 16, 37
dr hab. inż. Wojciech Weiner, prof. ATR w Bydgoszczy – 34, 39, 40
prof. zw. dr hab. inż. Jerzy Wróbel – 45

Artykuły zakwalifikowano na podstawie recenzji,
przygotowano do druku w postaci przedstawionej przez autorów

© Copyright by Politechnika Białostocka 2002

ISSN 0860-9292

Skład, opracowanie graficzne i druk:
Dział Wydawnictw i Poligrafii Politechniki Białostockiej

SPIS TREŚCI

1. Radomír Adamovský: GENERAL RECOMMENDATIONS FOR BIOMASS USE TO ENERGY PURPOSES IN THE CZECH REPUBLIC	7
2. Radomír Adamovský, Jaroslav Kára: SURVEY AND ANALYSIS OF SECONDARY HEAT ABUNDANCE IN FOOD PLANTS	13
3. Sławomir Bakier: CHARAKTERYSTYKI MOCY PRZY MIESZANIU KRUPCA MIODOWEGO MIESZADŁEM ŁAPOWYM	19
4. Eustachy S. Burka: POMIAR NATĘŻENIA PRZEPŁYWU PULSACYJNEGO	29
5. Edmund Chabowski, Marek Domoradzki, Wojciech Korpai, Wojciech Weiner: BADANIA PORÓWNAWCZE PRZESIEWACZY WIBRACYJNYCH O RÓŻNYCH SPOSOBACH NAPĘDU	45
6. Leon Demianiuk: BADANIE SIŁ WYSTĘPUJĄCYCH W MATRYCY BRYKIECIARKI ŚLIMAKOWEJ	55
7. Marek Domoradzki, Wojciech Korpai, Wojciech Weiner: BADANIA CIĄGŁEGO PRZESIEWACZA WIBRACYJNEGO DO KALIBRACJI NASION MARCHWI	65
8. Marek Domoradzki, Wojciech Korpai, Wojciech Weiner: SUSZARKA DO NASION	75
9. Kazimierz Drozd, Andrzej Weroński: PROBLEMATYKA TRWAŁOŚCI STALI RESOROWEJ W RÓŻNYCH WARUNKACH EKSPLOATACYJNYCH	83
10. Józef Flizikowski, Adam Mroziński, Zbigniew Kikiewicz: DOBÓR PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH MŁYNA TARCZOWEGO A JAKOŚĆ OTRZYMYWANEGO PAPIERU	91
11. Anna Grzybek, Marek Pilawski, Bogusław Tugi: KONCEPCJA WYKORZYSTANIA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W UKŁADACH CHŁODNICZYCH	101
12. Anna Grzybek, Marek Pilawski, Zbigniew Pabjan, Michał Ziętek: LOKALNA ELEKTROCIEPŁOWNIA WYKORZYSTUJĄCA JEDNOCZEŚNIE ODNAWIALNE I ALTERNATYWNE ŹRÓDŁA ENERGII	109
13. Roman Hejft: ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY GĘSTOŚCIĄ A PARAMETRAMI WYTRZYMAŁOŚCIOWYMI BRYKIETÓW PASZOWYCH	115

14. Marek Hryniewicz, Paweł Gara: BADANIA NAD TECHNOLOGIĄ UTYLIZACJI GĄBKI KADMOWEJ	125
15. Janusz Jakóbiec: OCENA EKSPLOATACYJNA OLEJU SMAROWEGO DO SILNIKÓW ZASILANYCH GAZEM PROPAN-BUTAN	133
16. Janusz Jakóbiec: RECYKLING I UTYLIZACJA PRZEPRACOWANYCH OLEJÓW SMAROWYCH SAMOCHODOWYCH W POLSCE	145
17. Andrzej Janewicz: ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW ZASILACZA ZBIERZNIKOWEGO NA JAKOŚĆ BRYKIETÓW OTRZYMANYCH W PRASIE WALCOWEJ	157
18. Paweł Kabza: ALGORYTM PLANOWANIA PRZEPŁYWÓW MATERIAŁOWYCH W WARUNKACH DYNAMICZNYCH OGRANICZEŃ ZASOBOWYCH	165
19. Roman Kaczyński: STRUCTURE-ENERGY PHENOMENON AND CONDITIONS OF SELF-ORGANIZING OF TRIBOSYSTEM	175
20. Jan Kiciński: MODELOWANIE I ANALIZA KOMPUTEROWA W BUDOWIE I EKSPLOATACJI MASZYN	185
21. Богдан Кіндрацький: МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ Й АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ ПНЕВМОПРИВОДІВ З ІНЕРЦІЙ- НИМ НАВАНТАЖЕННЯМ	197
22. Sławomir Kłos: PROCEDURA WERYFIKACJI KONTRAHENTÓW W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM ZARZĄDZANYM PRZEZ PROJEKT	209
23. Кондрат З., Литвиненко А.А., Некоз А.И., Сухенко Ю.Г.: ИСПОЛЬ- ЗОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ	219
24. Henryk Konopko: ANALIZA METOD OBLICZANIA ORAZ ROZ- WIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH SUSZAREK PNEUMATYCZNYCH	223
25. Bogdan Kosturkiewicz: BADANIA OBCIĄŻEŃ ELEMENTU ROBOCZE- GO ZASILACZA ŚLIMAKOWEGO MOMENTEM SKRĘCAJĄCYM	235
26. Bogdan Kosturkiewicz, Andrzej Janewicz: PROBLEM DOBORU KONFIGURACJI UKŁADU ZAGĘSZCZANIA PRASY WALCOWEJ	243
27. Włodzimierz P. Kowalski, Marian Banaś: WPŁYW STĘŻENIA ZAWIESINY NA ROZKŁAD STATYSTYCZNY WIELKOŚCI CZĄSTEK FAZY STAŁEJ W PROCESIE SEDYMENTACJI	253
28. Włodzimierz P. Kowalski, Krzysztof Kołodziejczyk, Tomasz Zacharz: BADANIA WPŁYWU KĄTA POCHYLENIA PRZEWODÓW	

WIELOSTRUMIENIOWYCH NA PRĘDKOŚĆ SEDYMENTACJI W PROCESIE ZAGĘSZCZANIA ZAWIESIN	261
29. Włodzimierz P. Kowalski, Rafał Mięso: SYMULACJE KOMPUTEROWE PROCESU KLAROWANIA ZAWIESIN W OSADNIKU PROSTOPADŁOPRĄDOWYM	269
30. Sławomir Lawda: PROBLEMY ZWIĄZANE Z TLUMIENIEM PULSACJI CIŚNIENIA W UKŁADACH TECHNICZNYCH	279
31. Tadeusz Matuszek: WYBRANE ZAGADNIENIA DIAGNOZOWANIA EKSPOLATACJI URZĄDZEŃ W PRODUKCJI ŻYWNOSCI	285
32. Mikołaj Moczarski: PODATNOŚĆ OBSŁUGOWA POJAZDÓW – PROGRAMOWANIE I OCENA	289
33. Arkadiusz Mystkowski: KONFIGURACJA SIECI PROFIBUS NA STANOWISKU DYDAKTYCZNYM	301
34. Jerzy Nachimowicz: WPLYW OBRÓBKII CIEPLNO –CHEMICZNEJ NA PARAMETRY TRIBOLOGICZNE ELEMENTÓW PARY TARCIA	309
35. А.И.Некоз, Н.Н.Черненко, С.А.Некоз, З.Кондрат: ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО КОМПЛЕКТА ВОЛЧКОВ	315
36. Sławomir Obidziński: UNIWERSALNE STANOWISKO DO BADAŃ PROCESU CIŚNIENIOWEJ AGLOMERACJI MATERIAŁÓW ROŚLINNYCH	325
37. Janusz Oprędkiewicz, Bolesław Stolarski: MODELOWANIE RECYKLINGU SAMOCHODÓW	333
38. Krzysztof Pałka: NIETYPOWE PRZYPADKI KOROZJI STALI AUSTENITYCZNYCH	341
39. Krzysztof Pałka, Andrzej Weroński: KONSTRUKCYJNE UWARUNKOWANIA PROCESU KOROZYJNEGO PĘKANIA PŁYT STRUMIENIOWYCH WYMIENNIKA CIEPŁA	349
40. Krzysztof Pałka, Andrzej Weroński: SKŁONNOŚĆ DO KOROZJI NAPRĘŻENIOWEJ PŁYT WYMIENNIKA CIEPŁA	357
41. Kazimierz Peszyński, Franciszek Siemieniako: ANALIZA MATEMATYCZNA BILANSU MASOWEGO SUROWCA W PIECU OBROTOWYM	365
42. Marek Pilawski, Zbigniew Pabjan, Michał Ziętek: TERMICZNA BEZODPADOWA I BEZKOMINOWA TECHNOLOGIA PRZETWARZANIA WSZELKICH ODPADÓW Z ODZYSKIEM	375

43. Tadeusz Potocki: WYBRANE ZAGADNIENIA Z TECHNOLOGII PRODUKCJI BIOPALIWA Z OLEJU RZEPAKOWEGO	389
44. Bernard Rzeczyński: UTYLIZACJA SUROWCOWA (WYBRANYCH) ODPADÓW STAŁYCH JAKO DYFUZYJNY PROCES KULTUROWO-LOGISTYCZNY	397
45. Jan Sidor, Zygmunt Drzymała: SYNTEZA KONSTRUKCJI PRZEMYSŁOWEGO MŁYNA WIBRACYJNEGO O NISKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI DRGAŃ DO MIELENIA TLENKU CHROMU NA SUCHO	407
46. Franciszek Siemieniako, Tomasz Huścio, Kazimierz Dzierżek: AUTOMATYZACJA PROCESU DOZOWANIA I MIESZANIA TRZECZ CIECZY	415
47. Elżbieta Skorupska: BADANIA KINETYKI SUSZENIA SŁOMY I ODPADÓW DRZEWNYCH PRZEZNACZONYCH NA OPAŁ	423
48. Ireneusz Soliński: ENERGETYCZNE, EKOLOGICZNE I EKONOMICZNE EFEKTY WYKORZYSTANIA BIOGAZU ZE SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH	433
49. Ljubomir Šooš, Peter Gros: DUAL-CHAMBER BRIQUETTING PRESS	447
50. Зиновий Стоцко: РЕАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА	455
51. Andrzej Szafraniec: TECHNOLOGIA UTYLIZACJI ODPADÓW ORGANICZNYCH Z WYKORZYSTANIEM URZĄDZENIA DO KOMPOSTOWANIA TYPU EKO-2000	461
52. Zygmunt Towarek: WPŁYW PODATNOŚCI PODŁOŻA GRUNTOWEGO NA WYBRANE RUCHY ROBOCZE KOPAREK I ŻURAWI	465
53. Andrzej Witek, Ali Abdulrazaq: WIBROIZOLACJA MASZYN POSADOWIONYCH NA STROPACH BUDYNKU	475
54. Waldemar Woźniak, Sławomir Kłos: WYBÓR METODY KALKULACJI KOSZTÓW DO OCENY OPLACALNOŚCI DEMONTAŻU ELEMENTÓW SAMOCHODOWYCH	485
55. Jerzy Wróbel: KOMPUTERYZACJA MAŁYCH ŚREDNICH PRZEDSIĘBIORSTW – ZARZĄDZANIE DOKUMENTACJĄ TECHNICZNĄ	493
56. Kazimierz Zawisłak: ANALIZA RÓŻNYCH METOD OBRÓBK TERMICZNEJ ZIARNA JĘCZMIENIA NA JAKOŚĆ I ENERGOCHŁONNOŚĆ PROCESU ROZDRABNIANIA	507

Radomír Adamovský *

GENERAL RECOMMENDATIONS FOR BIOMASS USE TO ENERGY PURPOSES IN THE CZECH REPUBLIC

Situation abroad

Consumption of fuel wood, or fuels on the wood base, is growing at developed countries, for example, in Finland, Sweden, Denmark and Austria.

While foreign technological and technical experiences can be received without basic corrections, it is not possible to apply economic assessment for economic conditions of individual states which can differ greatly.

Biofuels application is economical on the basis of local conditions only, for example, with source of waste wood or abundance of straw.

Situation in the Czech Republic

The energy renewable sources cover 2.2%. Biomass presents 1.6 % of this one, small water power stations - 0.4 %, solar and wind energy - the rest of energy balance of CR in 2000. 1,800 ths. t of biomass dry matter was consumed for energy purposes. 140 ths. t of phytomass was treated approximately for briquettes and pellets which is not correspond with really usable potential. Testing areas in the province of science show good assumptions for targeted production of biomass to energy purposes. In 2001, there were approximately 40 ths. of small furnaces up to 50 kW of output and 430 boiler houses about output over 200 kW. 60 of local boiler houses were built with output up to 500 kW, larger local heating plants are 17 in operation.

* Head of Department of Energetics, Logistics and Biomass Application, Research Institute of Agricultural Engineering - VÚZT

Necessity of sources of heat in the country - installed capacity

In the Tab. 1, we present a consumption of biofuels selected types from the point of view of maximum consumption per hour and weekly fuel stock. Calculations are carried out for 100% device efficiency. At efficiency of heating source system, for example, fuel consumption will be 80%, its weekly consumption will increase by 20%. Solid biofuels disadvantage is generally demand of larger stock against fossil fuel. Approximate calculation of necessary stock in m^3 for fuel storage with energy content of 1 MWh and 1 GJ is presented in Tab. 2. We have to take into account, for example, that logs need 4 times larger stocking area in comparison with coal and 2 times larger room compared with brown coal. Requirement on storage area is larger for chips compared with coal. Chips practically need 8 times larger storage area.

It means that it is, from the investment costs point of view, suitable to build relatively small storage (for 3 - 7 days) at larger heating facilities. They are recommended to dimension a storage for fuel supply of heating facilities for 7 days at the winter leisure time between Christmas and New Year. If heating facilities are out of municipal centre and there is enough room, the operation storage could be larger. This storage requires higher costs on investment at facilities construction. Since it is necessary to proceed in accordance with building, financial, disposal possibilities of investor.

Tab. 2. Approximate demand of storage area in m^3 for stock of fuel with energy content of 1 MWh and 1 GJ

Fuel	Specific weight kg.m^{-3}	Storage area $\text{m}^3.\text{MWh}^{-1}$	Storage area $\text{m}^3.\text{GJ}^{-1}$
Firewood-logs	320-450	0,7	0,19
Firewood-waste wood	210-300	1,05	0,29
chips	180-410	1,3	0,36
peat	350-400	0,8	0,22
Straw from self-loading wagon	40-60	3	0,83
Straw bales	80-150	0,60	0,17
Wood briquettes, pellets	600-1,100	0,275	0,08
Brown coal	650-780	0,41	0,11
coal	770-880	0,17	0,05

Biomass to use as a fuel

Although wood is a fuel of local importance, it is transported at a long distance of 15 – 60 km. We consider a straw as fuel produced in the place of consumption. In overwhelming majority of cases, it is not need to transport a wood at longer distance than 2 km (maximum up to 5 km). However, we are talking about supply of local facilities with heat power up to 2 MW. Real price of straw works towards 600 CZK.t⁻¹, after storage and further transport about 800 - 900 CZK.t⁻¹. Forest chips price fluctuates according to consumption place, it means that after following operations, as scrap of waste after exploitation, skidding, chipping, transport, it fluctuates about 1,000 CZK.t⁻¹, it is 1,150 – 1,200 CZK.t⁻¹ after stocking and additional transport. Assumed price is 10% without VAT for manufacturer. If it is possible to employ automated boilers on chips, heating wood waste is recommended for individual heating smaller plants, chips are competitive to brown coal. Situation of central heating plants is other. Network with transfer stations and often fuel new storage have to be calculated into costs besides boiler and boiler house. Further we will deal with centralised systems of heat supply (CZT).

Economic possibilities of investors

On the basis of data analyses for CZT built systems with biomass applied as a fuel, we made Tab. 3. In Tab. 3, we determine approximate prices of investment and produced heat from individual specific costs of existing buildings and straw price of 650 CZK.t⁻¹. Table 1 made for investors with subsidies and State Environmental Fund of the Czech Republic support, or without this support. From recapitulative comparing Table 3, it is possible to assess an impact of current grant on heating sources making more effective from installed output of 1,000 kW and higher. In spite of the fact of relatively high support of 32% of investment costs, sources of installed output under 1,000 kW are not effective. There is an idea of selective support of heat central sources according to installed output. The sources over 1,000 kW would have about 20% of support, heating plants under 1,000 kW would need 40 and more percent of support.

Tab. 3. Comparison of economic parameters of small central sources built without grant and with subsidy of 32 % from investment total high

Source Size kW	Specific investment costs of technological part Ths. CZK.kW ⁻¹	Invest. Costs Ths. CZK	Heat price		Investment depreciation time	
			With grant CZK.GJ ⁻¹	Without grant CZK.GJ ⁻¹	With grant years	Without grant years
500	5,7	6,839	397	427	12	15
1,000	5,05	10,994	288	304	12	15
1,500	4,4	14,347	257	271	12	15
2,000	3,9	16,747	245	256	12	15

Considerations and designed conceptions relate to building new heat central source for home and tertiary sector of smaller municipalities. We assume that high-capacity hay loft will be used as fuel storage in the farm, boiler house will be new built, or new adapted from the existing facilities of agricultural co-operative. Therefore building costs will be reduced as well as fuel price (straw bales). From the point of view of investor, municipal council project is an investment for its possibility to require subsidy from State Environmental Fund of the Czech Republic in the bounds of Programme 2A. On condition that subsidy for this project will be given, height of subsidy is maximum 80 = IC, subsidy is 40% of promised grant then 32% IC. The rest, i.e. 48%, is interest-free loan. It means, investor has to have 20% of investment, it is very advantageous under this situation. It is clear from following sentences. Individual boiler houses were assessed simply from the point of view of project. Point of view of project evaluate plan without of financing practice and taxation influence. It is about macroeconomic view undistorted by taxation system. Investor point of view was not considered, but it is very important which project will be realised because of selection of optimum variant of investment technical plan and the whole action optimum procedure finding.

Following from mentioned results of analysis, heat price for individual sizes of CZT systems is fluctuating from 256 to 427 CZK.GJ⁻¹ without use of subsidy according to heat power at fuel same price and depreciation time of 15 years which corresponds to economic life of source. 1 GJ heat price up to 280 CZK, or maximum 300 CZK is acceptable, but over 400 CZK is very high. We suggested above, grant use is only way for realisation of heat central smaller sources. Own financial means inserted immediately in its full height are calculated for simplification in all calculations. The main problem of wider application of heat central sources are first of all high costs on source purchase (that is not a point of

boiler of boiler house only, but it concerns heat distribution, interchange stations and so on), for small devices necessary costs are worse amortised in total costs.

Conclusions

In conclusion it is possible to note that biomass consistent application for local energy industry is not a danger of current natural resources, but this one creates favourable conditions for natural resources better application.

Radomír Adamovský*, Jaroslav Kára*

SURVEY AND ANALYSIS OF SECONDARY HEAT ABUNDANCE IN FOOD PLANTS

Abstract: This lecture focuses on taking inventory and making energy analyses of the occurrence of secondary heat from technological processes in the food industry. The results of analyzing the occurrence of secondary (waste) heat in 154 factories in the sugar, meat, dairy, beer, and chocolate industries are presented. The production of secondary heat is analyzed according to sector and the type of heat-carrying medium, that is, the overheated and condensate heat of NH_3 ; the palpable heat of steam, condensate, and water; and the palpable heat of air and combustion products. Additionally, the results of operationally metering a large-capacity baker's oven, lines for drying potatoes and root vegetables, and a large-capacity cooling plant were compiled.

1. Introduction

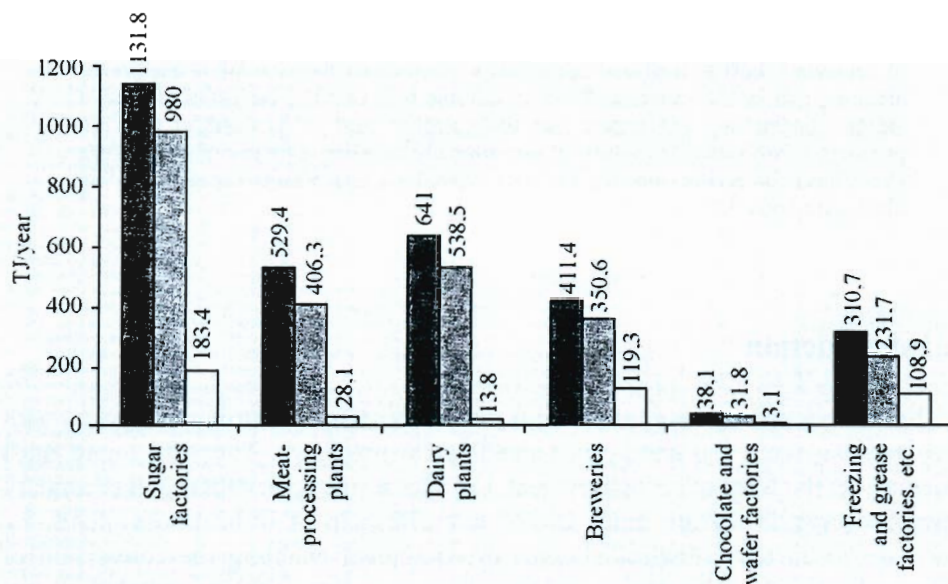
Secondary energy sources (SES) occur in all sectors of production as a result of consuming fuels and energy in technological processes. They are found most frequently in the form of secondary heat, but also as secondary fuels and secondary pressure energy. They are made use of with the help of utilization systems, by which we mean technological systems or equipment enabling the conversion of SES to other forms of energy or the same forms of energy having suitable energy parameters for end-use consumption. In more complicated equipment with higher investment demands, such as heat pumps, thermo-compressors, heat transformers, and organic Rankine-Claus cycles, we can get energy in the sense of the second law of thermodynamics with higher potential (exergy) than we deliver with, for example, secondary heat.

* Technical Faculty at the Czech Agricultural University in Prague, Kamýcká 129, 165 21 Prague
6 - Suchdol

2. Results

In the scope of a research grant from the Czech Ministry of Agriculture 313/13 and in cooperation with the Research Institute of Agricultural Technology Prague – Řepy and the State Energy Inspector of the Czech Republic, we completed a detailed investigation on the occurrence of SES in 154 food-processing plants. The study included 21 sugar factories, 32 meat-processing plants, 5 dairy plants, 25 breweries, 6 chocolate and wafer factories, and 13 freezing and grease factories.

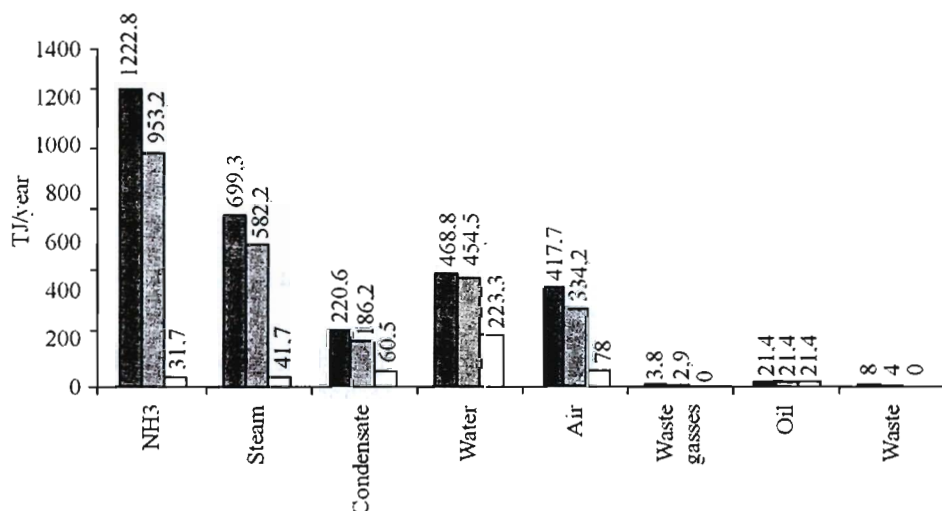
The quantitative results of investigating the occurrence of SES broken down according to sector are given in Graph I.



Graph 1. Break - down of SES according to sector, ■ – total production, ▨ – utilizable production, □ – utilized production

The potential usable annual production, determined by subtracting losses related to use and to interrupted operation is 2,539 TJ. This energy represents approximately 70 mil. m³ of natural gas.

The results of investigating the production of SES, classified according to heat-carrying matter, are given in Graph 2.



Graph 2. Break-down of SES according to heat - carrying material, ■ – total production, ▨ – utilizable production, □ – used production

From the aforementioned results it is clear that, from the perspective of frequency of occurrence and the annual production of SES, NH₃ is the most significant source of superheating and condensate heat. Together with pressure, the temperature of superheated ammonia steam reaches 65 – 125°C. The energy potential obtained from waste steam from sugar production is also significant. However, its use is severely limited by the seasonal nature of operation and the placement of factories. The third source on the list from the perspective of production is palpable water heat. Hot waste water with temperatures ranging from 30 to 90°C can be found in almost all sectors of the food-processing industry. The occurrence of other types of SES, that is, secondary fuels and pressure energy, is insignificant in the given area.

As a follow-up to the results of investigating the occurrence of SES, we devote our efforts to completing more detailed analyses and proposals for techniques to use secondary heat from specific technological lines and equipment in the framework of research grants from the Technical Faculty at the Czech Agricultural University in Prague and of theses and dissertations by our students. We presented some results at last year's EEBW conference. In this lecture we would like to show selected results from metering that we did this year.

A. AGROFRIT, Inc. Nížkov, in the Ždár nad Sázavou district; a continual three-belt drying house for potatoes and root vegetables from the firm PROCTOR & SCHWARTZ (GB), evaporative capacity 1750 kg.h^{-1} .

Results of metering extracted dryer air:

- mean temperature 78°C ,
- mean flow speed 4.02 m.s^{-1} ,
- mass flow 1.6 kg.s^{-1} ,
- specific humidity 0.394 kg.kg^{-1} s.v. (per 1 kg of dry air),
- specific enthalpy $1120.33 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

If we cool the extracted dryer air to 70°C , we get a heat capacity of 518.53 kW . 680 kg.h^{-1} of condensate can be utilized in the technological process of washing potatoes.

B. Bakery Soupek Nymburk; PPC 250 cyclometric belt furnace by the firm TMS Pardubice, 900 kg.h^{-1} capacity.

Results of metering a waste-gas sample from the gas-burning heat source:

- mean temperature of waste gasses 270°C ,
- mean flow speed 2.78 m.s^{-1} ,
- mass flow 0.183 kg.s^{-1} .

If we cool exhaust gasses to 117°C , we get a heat capacity of 31.06 kW , which can be used in producing dough. Even though it concerns exhaust from burning natural gas, which contains relatively small amounts of S and N, we do not consider it appropriate to cool exhaust gasses to a lower temperature because of the possibility of condensation.

C. Litoměřické freezing plant, $25\,930 \text{ m}^3$ of storage area; R 717 cooling agent; 745 kW cooling capacity; three ČKD 4 VN-150A single-stage compressors, evaporating temperature -15°C ; two ČKD 4 VD-260A twostage compressors, evaporating temperature -35°C ; joint condensation temperature 38°C , 1.47 MPa pressure.

Results of metering and calculating cooling cycles:

- mass flow of coolant in the circuit -15°C , 0.75 kg.s^{-1} ,
- mass flow of coolant in the circuit -35°C , 0.233 kg.s^{-1} ,
- condenser cycle capacity -15°C , 1024 kW ,
- condenser cycle capacity -35°C , 334 kW .

Among several variants of prepared technical proposals, the leader of the enterprise prefers utilizing tangible heat from overheated steam (120°C) at a value of 239 kW to heat 1.43 kg.s^{-1} of water to 50°C .

3. Conclusions

Current information indicates that the criterion for utilizing SES is not only its existence, but also the possibility to make efficient use of it where it occurs. It is theoretically possible to use secondary heat in the technological, process where it arises, in other technology associated with operation, and for heating and preparing hot domestic water for outside consumers. In actual operation, the utilization of this energy is significantly restricted by the location of the equipment and constructions, operating times, and financial demands of utilization equipment.

At the present time, the criterion for investment and operating expenses to obtain energy is moving to the center of focus systems to utilize secondary heat from waste exhaust, water, and condensate in recuperation and regeneration exchangers. Air-air heat recuperation appears to be particularly efficient, since the only investment it requires for existing equipment is for the heat exchanger. However, investments to utilize SES are never insignificant; therefore, an evaluation of their efficiency must be based not only on energy savings and reductions in operating costs, but must also take into account the environmental effects of implementation.

Reference

1. **Adamovský R.:** Proposal of energy system for secondary heat usage in baking ovens. In. Energy Efficiency Business Week. 4. Praha: SEVEN, 1995. p. 9.5.

Sławomir Bakier*

CHARAKTERYSTYKI MOCY PRZY MIESZANIU KRUPCA MIODOWEGO MIESZADŁEM ŁAPOWYM

Streszczenie: W pracy przedstawiono charakterystyki mocy przy mieszaniu krupca miodowego mieszadłem łapowym. Ponieważ badane medium jest płynem tiksotropowym liczbę mocy Ne przedstawiono w funkcji częstości obrotowej mieszadła. W efekcie uzyskano obszary zmian Ne ograniczony od góry i od dołu krzywymi, które uzyskano w wyniku aproksymacji wyników badań. Określono też przedział zmienności liczby Reynoldsa dla mieszania.

1. Wprowadzenie

Miód pszczeli należy do najstarszych produktów spożywczych. Konsumentom kojarzy się z lepkiem i słodkim płynem, który spływa cienką stróżką tworząc charakterystyczny stożek. W rzeczywistości bardziej typową, bo trwałą dla tego produktu jest postać skryształizowana zwana krupcem. Przy czym w stanie krystalicznym właściwości reologiczne miodu są bardziej „skomplikowane”. Przyjmuje on w temperaturze otoczenia postać półpłynną określaną w literaturze przedmiotu terminem *semi-solid* [1]. Stan półpłynny charakteryzuje się dwufazową strukturą, która przedstawia sobą kryształy zawieszone w lepkiej cieczy izotropowej [2]. Charakterystyczne jest przy tym wykazywanie przez ten surowiec silnych właściwości tiksotropowych [3]. Jest to efektem zachwiania równowagi pomiędzy fazą ciekłą i stałą w czasie ścinania krupca. Zmniejszenie się lepkości pozornej podczas procesu deformacji wynika ze zmiany struktury wewnętrznej medium [4]. Proces taki można nazwać tiksotrofią [4]. W efekcie uzyskuje się nowy produkt o zmienionej strukturze, który znacznie różni się konsystencją w stosunku do surowca wyjściowego. Krupiec miodowy drobnokrystaliczny i o ciągliwej konsystencji obrabiany mechanicznie znany jest na rynku jako miód kremowy. Charakte-

* Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 C, 15-351 Białystok

ryzuje się on, masłową konsystencją, która łatwo daje się rozsmarowywać. Miód kremowy można otrzymać mieszając krupiec mieszałem łapowym.

Podstawowym parametrem umożliwiającym dobór i obliczenie każdego mieszadła jest posiadanie charakterystyk mocy przedstawiających sobą zależność funkcyjną liczby mocy od liczby Reynoldsa dla mieszania – $Ne = f(Re)$. Należy jednak zaznaczyć, iż w przypadku mieszania krupca, otrzymanie typowych (jak dla mediów reologicznie stabilnych) charakterystyk nie jest możliwe. Wynika to głównie ze specyficznych właściwości krupca miodowego. Charakteryzuje się on silną tiksotropią, która związane jest ze spadkiem lepkości pozornej przy ścinaniu przy stałej szybkości nawet o 40% [3]. Posiada przy tym znaczną lepkość, która może osiągać wartość do kilkuset paskalosekund. Problem mieszania płynów tiksotropowych jest stosunkowo ubogo reprezentowany w literaturze, pomimo, że dotyczy wielu masowych produktów takich jak: zaprawy cementowe, gipsowe, farby czy też zaprawy ceramiczne na bazie gliny [5].

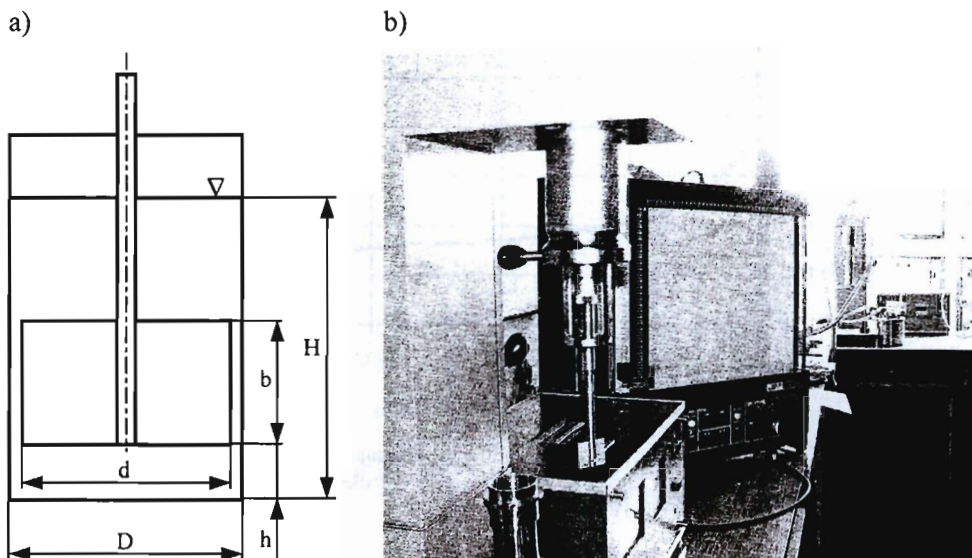
Celowe staje się, więc podjęcie powyższego problemu badawczego. Określanie zaś podstawowych zależności dotyczących wpływu geometrii i kinetyki mieszadła na pobór mocy w czasie mieszania, jest podstawowym elementem umożliwiającym projektowanie mieszalników do tego typu mediów. Ze względu na właściwości tiksotropowe krupca miodowego przedstawienie wyników badań wymaga nietypowego podejścia, które prezentowane jest w doniesieniu.

2. Stanowisko pomiarowe i metodyka badawcza

Badania prowadzono z wykorzystaniem mieszadeł łapowych o różnej wysokości łopatki (łapy) – b. Trzy mieszadła różniły się wysokością łopatki, która wynosiła: b = 20 [mm] (mieszadło Ł); 13[mm] (mieszadło 2/3Ł); 7 [mm] (mieszadło 1/3Ł). Czwarte mieszadło miało łopatkę o wysokości b = 20 [mm] (mieszadło OŁ), ale z wywierconymi w niej symetrycznie czterema otworami o średnicy 5 [mm] na promieniu r = 18 [mm].

Na rys. 1a przedstawiono schemat zastosowanego mieszalnika oraz użyte oznakowanie. Wymiary geometryczne używanych mieszadeł były następujące: D = 38, d = 25, h = 7,5, H = 38 [mm].

Do pomiaru momentu obrotowego na wale mieszadła i termostatowania próbek wykorzystano układ napędowo-pomiarowy Rheotestu 2. Przy czym stosowane mieszadła były mocowane w miejsce (gnieździe) cylindrów pomiarowych. Fotografii stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1b.

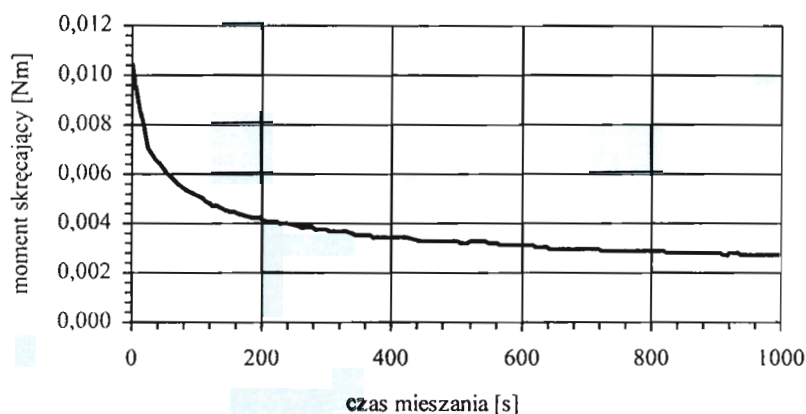


Rys. 1. Stanowisko badawcze: a) schemat i oznakowanie mieszalnika, b) fotografia stanowiska.

Jako medium badawcze zastosowano skrzystalizowany miód pszczeli wielokwiatowy. Substancja przed mieszaniem była termostatowana w temperaturze 34°C w celu ujednoludnienia jej właściwości w całej masie. Masa próbki do badań wynosiła 103 g. Pomiary prowadzono przy stałej temperaturze 34°C przy częstościach obrotów mieszadła, która wynosiła odpowiednio $n = 0,083; 0,124; 0,150; 0,225; 0,275; 0,420; 0,494; 0,733 [\text{s}^{-1}]$.

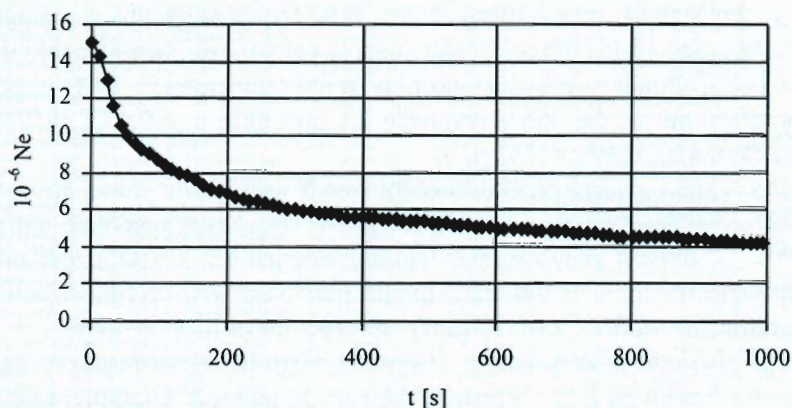
Zastosowane wartości prędkości obrotowych wynikały z jednej strony z ograniczeń sprzętowych. Związane to było z wykorzystywanym zespołem napędowym Rheotestu 2. Z drugiej zaś, znaczna lepkość mieszaniny krystalicznej oraz silne napowietrzenie medium w trakcie ścinania przy wysokich prędkościach obrotowych, ograniczały wartość zastosowanej częstości obrotowej od góry.

Przebiegi zmian wartości momentu obrotowego M rejestrowano na rejestratorze XY typu Endim 622.22. Wprowadzano je do pamięci komputera za pomocą digitizera Summa Sketch' II Profesional Plus. Aproksymowano następnie wykorzystując specjalistyczny program digit i gradientową metodę aproksymacji Marqartcha. Następnie dane wczytywano do programu Excel i przeliczano wartości momentu obrotowego uzyskane dla poszczególnych prędkości obrotowych na wartość liczby mocy Ne .



Rys. 2. Przykładowy przebieg zmian momentu skracającego na wale mieszadła od czasu mieszania krupca mieszadłem łopowym o szerokości łapy $b = 20$ mm przy częstotliwości obrotowej $n = 0,494$ [s⁻¹]

Powyżej na rys.2 ukazano przykładowy przebieg zmian momentu skracającego na wale mieszadła w trakcie mieszania krupca miodowego mieszadłem łopowym o szerokości łapy $b = 20$ mm przy częstotliwości obrotowej $n = 0,494$ [s⁻¹].



Rys. 3. Wykres przedstawiający zmiany liczby mocy Ne w trakcie mieszania krupca miodowego mieszadłem łopowym o szerokości łapy $b = 20$ mm przy częstotliwości obrotowej $n = 0,150$ [s⁻¹].

Na podstawie przebiegów zmian momentu obrotowego w trakcie procesu obliczano moc mieszania ze wzoru:

$$P = 2\pi \cdot M \cdot n. \quad (1)$$

Następnym elementem obliczeń było określenie liczby mocy na podstawie wzoru definicyjnego [9]:

$$Ne = \frac{P}{n^3 d^5 \rho}. \quad (2)$$

Przykładowy przebieg zmian liczby mocy w trakcie mieszania krupca miodowego dla przebiegu ukazanego na rys. 2. przedstawia rys. 3.

Ze względu, na fakt, iż medium mieszane wykazywało właściwości tiksotropowe wartość liczby Reynoldsa była zmienna w trakcie procesu. Określenie jej wartości jest jednak niezbędne ze względu na wykorzystanie wyników badań przeprowadzonych w warunkach modelowych. Praktycznie nie istnieje możliwość jej ciągłego określenia podczas mieszania. Możliwe jest jedynie określanie tej wartości po zakończeniu mieszania [5]. Dlatego też wyznaczono wartość liczby Reynoldsa odpowiadającej zastosowanym mieszadłom, częstości obrotowej i wartości lepkości pozornej medium po zakończeniu procesu mieszania z zależności:

$$Re_m = \frac{nd^2 \rho}{\eta'} \quad (3)$$

gdzie η' oznacza wartość początkową lepkości pozornej medium po mieszaniu.

Obliczenie wartości liczby Reynoldsa z zależności (3) wymagało dodatkowych, pomiarów reologicznych związanych z określeniem lepkości pozornej medium, które szczegółowo przedstawiono w doniesieniu [5]. Polegały one na wykreśleniu krzywej typu $\tau = f(t)_{\dot{\gamma}=const}$. Dzieląc wartość naprężeń ścinających przez szybkość ścinania uzyskano wartość lepkości pozornej, która mieści się w przedziale $\eta' \in \langle 28,58; 91,45 \rangle$ [Pa s]. Po podstawieniu tych wartości do wzoru (3)

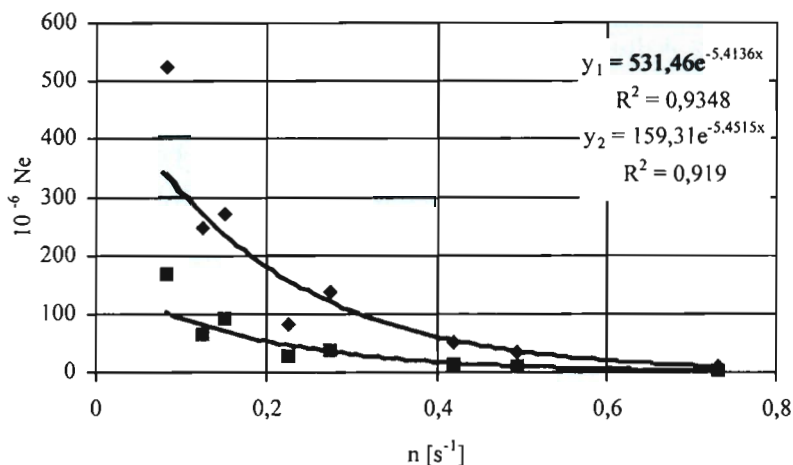
uzyskano wartość liczby Reynoldsa $Re_m \in \langle 1,81 \cdot 10^{-4}; 19,56 \cdot 10^{-4} \rangle$. Przy czym należy podkreślić, iż są to wartości uzyskane dla medium na zakończenie procesu mieszania. Wartości początkowe (przed mieszaniem) są jeszcze wyższe).

Charakterystyki mocy przy mieszaniu krupca miodowego przedstawiono w funkcji częstości obrotów mieszadła n [s⁻¹]. Ze względu na fakt zmiany w trakcie mieszania lepkości medium przedstawiając charakterystykę mocy $Ne = f(n)$ używa się obszaru jej zmian od wartości na początku procesu do wartości końcowej. Aproxymując wartości początkowe i końcowe uzyskano górną i dolną granicę wartości liczby mocy. Można, więc w tym przypadku mówić o obszarze zmian

liczby mocy w funkcji częstości obrotów mieszadła. Wartości liczby mocy dla zastosowanych mieszadeł i częstości obrotów mieszadła przedstawiono w tablicy 1. Przykładowy obszar zmienności charakterystyki mocy przedstawiono na rys. 4. Postać matematyczną dolnych i górnych krzywych ograniczających „obszar mocy” badanych mieszadeł przedstawiono w tab. 2.

Tab. 1. Wartość liczby mocy uzyskana w przeprowadzonych pomiarach.

Nr pom.	Wartość częstości obrotowej n [s^{-1}]	Liczba mocy podczas mieszania [$10^{-6} \cdot Ne$]							
		Mieszadło Ł		Mieszadło 2/3Ł		Mieszadło 1/3Ł		Mieszadło OŁ	
		p	k	P	k	p	k	p	k
1	0,083	525	168	263	116	242	63	347	147
2	0,124	246	66	160	49	70	25	332	74
3	0,150	271	93	152	42	58	26	316	95
4	0,225	82	26	51	15	40	12	94	27
5	0,275	137	39	91	20	40	10	151	47
6	0,420	53	13	33	11	27	8	56	14
7	0,494	33	9	23	4	14	2	32	10
8	0,733	12	4	9	1	5	0,4	14	4



Rys. 4. Charakterystyka obszaru mocy dla mieszadła typu Ł. Krzywa górna oznacza liczbę mocy po aproksymacji na początku procesu mieszania, krzywa dolna na końcu procesu mieszania.

Tab. 2. Równania ograniczające obszar mocy badanych mieszadeł

Rodzaj mieszadła	Rodzaj ograniczenia	Równanie opisujące liczbę mocy podczas mieszania	
		Matematyczna postać równania po aproksymacji	Współ. korelacji R^2
Mieszadło Ł	Górne	$Ne_1 = 531,46e^{-5,4136n}$	$R^2 = 0,93$
	Dolne	$Ne_2 = 159,31e^{-5,4515n}$	$R^2 = 0,92$
Mieszadło 2/3Ł	Górnej	$Ne_1 = 290,53e^{-4,9643n}$	$R^2 = 0,93$
	Dolne	$Ne_2 = 122,12e^{-6,617n}$	$R^2 = 0,95$
Mieszadło 1/3Ł	Górne	$Ne_1 = 167,25e^{-4,8865n}$	$R^2 = 0,89$
	Dolne	$Ne_2 = 78,853e^{-7,0594n}$	$R^2 = 0,95$
Mieszadło OŁ	Górne	$Ne_1 = 531,14e^{-5,2313n}$	$R^2 = 0,94$
	Dolne	$Ne_2 = 164,26e^{-5,3871n}$	$R^2 = 0,9332$

Podsumowanie badań

Poniżej wyszczególniono stwierdzenia, które zostały sformułowane na podstawie przeprowadzonych pomiarów.

1. Przy mieszaniu płynów tiksotropowych wartość liczby mocy i Reynoldsa są wartościami zmiennymi a wartość Re wzrasta.
2. Liczba mocy osiąga bardzo wysoką wartość zawartą w przedziale $Ne \in \langle 1 \cdot 10^6; 5,25 \cdot 10^8 \rangle$. Przy czym liczba mocy w trakcie procesu mieszania spada;
3. Wartość liczby Reynoldsa jest bardzo niska i na zakończenie procesu mieszania zawiera się w przedziale $Re \in \langle 1,81 \cdot 10^{-4}; 19,56 \cdot 10^{-4} \rangle$. Wartość liczby Reynoldsa rośnie w trakcie mieszania;
4. Wyjątkowo niskie wartości liczby Reynoldsa jednoznacznie pokazują specyfikę związaną z realizacją mieszania krupca miodowego.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań możliwe staje się przeprowadzenie przybliżonych obliczeń związanych z określeniem podstawowych parametrów procesu mieszania krupca miodowego mieszadłem łopowym. Podejście zaproponowane w pracy zostało wymuszone specyficznymi właściwościami mieszanego medium. Celowe staje się poszerzenie badań związanych z bardziej precyzyjnym określeniem wartości liczby Reynoldsa przed i w trakcie procesu i przyporządkowanie jej określonej (zmiennej) wartości liczby mocy. Umożliwiłoby to szczegółową i ścisłą charakterystykę procesu mieszania tak w aspekcie jakościowym jak i ilościowym.

Literatura

1. **Rao Anandha M.:** Rheology of fluid and semisolid foods. Principles and applications. An Aspen Publication. Gaihersburg, Maryland 1999.
2. **Bakier S.:** Właściwości mezomorficzne miodu pszczelego. Materiały z XXXIX Naukowej Konferencji Pszczelarskiej, Puławy 2002.
3. **Bakier S., Lewczuk P.:** Właściwości reologiczne miodu pszczelego w postaci skryształizowanej. Inżynieria Rolnicza R.4, z. 5 2000 (s.23-30).
4. **Bakier S.:** Tiksoforming produktów spożywczych. IX Ogólnopolskie Seminarium „Mieszanie” Olsztyn, 18-20 Września 2002. (Materiały w druku).
5. **Bakier S.:** Mieszanie płynów tiksotropowych mieszadłem łopowym. IX Ogólnopolskie Seminarium „Mieszanie” Olsztyn, 18-20 Września 2002. (Materiały w druku).
6. **Šesták. J., Houška M.:** Mixing on thixotropic fluid. Journal of Rheology 26 (5) 1982 (459-475).
7. **Kapranos P., Liu T. Y., Atkinson H. V., Kirkwood D. H.:** Investigation into the rapie compression of semi-solid alloy slugs. Jurnal of Materials Processing Technology 111 (2001) (str. 31-36).
8. **Ward P.J. Atkinson H.V., Andersen P.R.G. an all.:** Sami –solid processing of novel MMCs based on hypereutectic aluminium-silicon alloys. Acta mater. Vol. 44, no.5 pp.1717-1727. 1996.
9. **Zhang H., Wang J. N.:** Thixoforming of spray-formed 6066Al/SiCp compositions. Composites Science and Technology 61 (2001) pp.1233-1238.
10. **Stręk F.:** Mieszanie I mieszalniki. WNT, Warszawa 1981.

THE CHARACTERISTIC OF POWER IN MIXING OF CRYSTALLIZED HONEY WITH PADDLE IMPELLERS

Summary: The paper presents results of research work characteristic of power in mixing of crystallized honey with paddle. Because the mixing medium is of thixotropic fluids number power presents in function n [s^{-1}]. In the research work the influence of the width of the paddle on both the mixing power and the change of the rheological properties of the product was investigated. The optimum geometry for the paddle impeller was chosen by analyzing the demand for power and simultaneous considering the changes of the rheological properties of the medium.

Eustachy S. Burka*

POMIAR NATĘŻENIA PRZEPŁYWU PULSACYJNEGO

Streszczenie: praca stanowi wycinek opracowania zagadnienia przepływomierzy laminarnych do pomiaru natężenia przepływu pulsacyjnego. W pracy rozwiązano analitycznie zagadnienie rozkładu prędkości płynu nieściśliwego w zamkniętych kanałach prostoosiowych o przekroju trójkątnym oraz wyznaczono zależność funkcyjną zachodzącą pomiędzy spadkiem hydraulicznym a prędkością średnią w przekroju poprzecznym. Następnie podjęto zadanie doświadczalnego sprawdzenia zależności funkcyjnej $v_s = f(J)$, wyprowadzonej postaci równania i przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań oraz zaprezentowano przepływomierz prototypowy.

Słowa kluczowe: mechanika płynów, maszyny przepływowe

1. Wstęp

Przepływ pulsacyjny określany jest jako przepływ z okresowymi fluktuacjami natężenia przepływu masowego. Zagadnienie to, jako szczególnie ważne występuje silnie we wlotowych i wylotowych przewodach silników tłokowych, w instalacjach zasilających pompami tłokowymi względnie kompresorami, we wszystkich konstrukcjach, których działanie opiera się na ruchu falowym, jak np. układ odrzutów pulsacyjnych. Pojawić się tu może również w związku z nieustaleniem przepływu w przewodach, w pewnych szczególnie korzystnych warunkach sprzyjających samowzbudzania drgań własnych. Zasadniczy problem polega na określeniu średniego natężenia w jednostce czasu dla przepływu przez przekrój poprzeczny rurociągu, tworzącego odcinek pomiarowy przepływomierza.

Z przeglądu literatury dotyczącej problemu pomiaru natężenia przepływu pulsacyjnego przy pomocy przepływomierzy opartych na wskazaniach różnicy ciśnień wynika, iż było ono przedmiotem szerokich badań [10].

* Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku

Większość prac poświęconych temu zagadnieniu ogranicza się niestety, do przepływu płynów nieściśliwych, rozwiązanie zaś tego zagadnienia opiera się o teorię przepływu quasiustalonego. Zakres przypadków, do których można stosować tę teorię jest silnie ograniczony a warunki przepływu poza tym zakresem, analizowane są jedynie jakościowo.

Wpływ systemu przepływowego na błąd pomiaru, zbadany był dotychczas bardzo wyczerpująco. Większość badaczy, zajmowała się przede wszystkim tłumiącym wpływem objętości zainstalowanej pomiędzy źródłem pulsacji a obszarem pomiaru, przy czym wpływ dławienia był ogólnie pomijany.

Przepływomierze oparte na innej zasadzie pomiaru niż różnicowo ciśnieniowej, można podzielić na objętościowe i masowe. Pierwszy rodzaj może przedstawiać sobą przepływomierz typu turbinowego, elektromagnetycznego, oraz w pewnej mierze manometr elektryczny. Ich wspólną cechą jest określenie objętości, w związku z czym zachodzi konieczność dokładnej znajomości fluktuacji gęstości, aby określić natężenie przepływu masowego. Do drugiej kategorii zaliczyć można jedynie przepływomierz opracowany przez Li [9] a produkowany przez Potter Aeronautical Company.

Główną zaletą przepływomierza elektromagnetycznego jest brak jakiegokolwiek przeszkody utrudniającej przepływ, oraz łatwe utrzymanie zależności liniowej pomiędzy wskazaniem a prędkością przepływu. Z drugiej jednak strony, medium przepływające posiadać musi przewodność elektryczną powyżej pewnego minimum, które to minimum przewodności dla szeregu substancji jest nieosiągalne, (np. olej gazowy, benzyna itp.) Dodatkowe wymagania istnienia silnego pola magnetycznego zmusza do stosowania małych wymiarów przewodu przepływowego.

Pierwszym racjonalnym sposobem zastosowania teorii przepływu quasiustalonego do pomiaru natężenia przepływu pulsującego był sposób podany przez Schultz-Grunowa [12], wprowadzający jako miarę nieustaloności przepływu, parametr bezwymiarowy Φ będący odwrotnością liczby Strouhala N_s . Na podstawie obszernych badań wykazał Schultz-Grunow, iż dla $\Phi \geq 500$ ($N_s \leq 2 \cdot 10^{-3}$), efekty dynamiczne występujące przy przepływie pulsacyjnym można pominąć, to znaczy przepływ taki można traktować jako quasiustalony. Dla pomiaru natężenia przepływu w danym zakresie zaleca Schultz-Grunow stosowanie zwężki wraz ze specjalnym odprowadzeniem bocznikowym, przez który znana stała wartość natężenia przepływu może być odprowadzona lub doprowadzona do przepływającego strumienia.

Na specjalnie omówienie zasługują tu dwie praktyczne metody pomiaru natężenia przepływu pulsującego za pomocą wskazań różnicy ciśnień. Jedna z nich opiera się na zastosowaniu dyszy o przepływie krytycznym, druga zaś, na zastoso-

waniu przepływomierza o oporze liniowym. Obydwie te metody nie nadają się niestety do zastosowania w praktyce przemysłowej, mogą zaś znaleźć szerokie zastosowanie w praktyce laboratoryjnej.

Dysza o przepływie krytycznym jest ograniczona koniecznością stosowania specjalnej instalacji pomiędzy zbiornikiem pulsującym a zbiornikiem wyrównawczym.

Przepływomierz laminarny oparty jest zaś na tej zasadzie [2], iż przy przepływie laminarnym średni spadek ciśnienia jest wprost proporcjonalny do średniej prędkości przepływu. Sekcją pomiarową takiego przepływomierza jest wkładka kanałowa o długich, wąskich kanalikach, jak to zastosował w swoim przepływomierzu Alcock [1], lub też wkładka z masy porowatej jak w przepływomierzu Fleminga i Bindera [5].

Posługując się przepływomierzem laminarnym opartym na powyższej metodzie budowy, otrzymali Knaster i Shih [7] całkowicie zadowalające wyniki.

Z rozważań powyższych wynika, że najlepszym rozwiązaniem problemu natężenia przepływu pulsującego jest ustalenie granic stosowalności poszczególnych przepływomierzy, względnie podanie rozwiązania prostego w budowie przepływomierza, określającego bezpośrednią zależność liniową pomiędzy spadkiem hydraulicznym a natężeniem przepływu w szerokim zakresie zmian prędkości.

Problem pomiaru natężenia przepływu pulsacyjnego w instalacjach przemysłowych, jak np. rurociągi przenoszące duże ilości cieczy, gazów lub par, jest nadal problemem szczególnej wagi. Stosowanie mianowicie do celów przemysłowych powyższych przepływomierzy, budzi wiele zastrzeżeń.

Najodpowiedniejszym urządzeniem dla pomiaru natężenia przepływu, wydaje się być przepływomierz laminarny typu Alcocka. W przepływomierzu tym, w celu otrzymania możliwie małej liczby Reynoldsa, pulsujący strumień prowadzony jest przez szereg kanalików o bardzo małym przekroju poprzecznym. W kanalikach tych realizowany jest przepływ laminarny, w wyniku czego uzyskuje się wprost proporcjonalną zależność pomiędzy spadkiem hydraulicznym a natężeniem przepływu, nawet przy fluktuacji prędkości [8]. Mimo, że pomysł przepływomierza nie jest nowy (Akcock), to jednak nie był on szeroko rozpowszechniony poza granicami Anglii. Dopiero w ostatnich latach zainteresowanie tym urządzeniem zdecydowanie wzrosło, czego dowodem są fakty wprowadzenia go do standartowego wyposażenia wielu przodujących laboratoriów światowych.

2. Sformułowanie matematyczne

Ze względów technologicznych najkorzystniej jest wykonać kanał o przekroju trójkątnym, dlatego też rozpatrzmy zagadnienie przepływu laminarnego przez prostoosiowy kanał zamknięty, o przekroju trójkąta równobocznego.

Dla ustalonego przepływu laminarnego przez prostoosiowy kanał zamknięty o przekroju trójkątnym, równanie Navier Stokesa [11]

$$v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{g}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial z} + v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

gdzie: v – prędkość w kierunku osi z

g – przyspieszenie ziemskie

γ – kinematyczny współczynnik lepkości

p – ciśnienie

doznaje znacznego uproszczenia. Jeśli mianowicie przepływ jest ustalony i wszystkie cząstki płynu poruszają się po prostoosiowych torach poziomych, równoległych do osi z ($v_x = v_y = 0$), to z warunku ciągłości wynika, że $\frac{\partial v}{\partial z} = 0$.

Wprowadzając do równania (1) powyższe założenia, przy uwzględnieniu, że dynamiczny współczynnik lepkości $\eta = \frac{\nu\gamma}{g}$ otrzymamy równanie:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \eta \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \quad (2)$$

Doświadczalnie stwierdzono, że spadek ciśnienia p między dwoma przekrojami poprzecznymi, dostatecznie oddalonymi od wlotu, jest proporcjonalny do odległości wzajemnej tych przekrojów, wobec czego

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{dp}{dz} = 0$$

Wprowadzając to założenie do równania (2) otrzymujemy

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + 2C = 0 \quad (3)$$

gdzie:

$$2C = -\frac{1}{\eta} \frac{dp}{dz} = \text{const} \quad (4)$$

z warunkiem brzegowym

$$v(x, y) = 0 \quad (5)$$

dla x, y należących do obwodu trójkąta o przekroju Γ . Stosując do rozwiązania równania (3) z warunkiem (5) metodę Kantorowicza [6], polegającą na odpowiednim zastosowaniu metody wariacyjnej, tak aby zagadnienie sprowadzało się do równania różniczkowego zwyczajnego z warunkami brzegowymi, otrzymany wzór na prędkość średnią w przekroju poprzecznym trójkąta równobocznego

$$v_s = \frac{1}{|D|} \iint_D v(x, y) dx dy \quad (6)$$

gdzie D oznacza obszar ograniczony trójkątem Γ a $|D|$ – pole tego obszaru.

Po dokonaniu dodatkowych przeliczeń otrzymujemy

$$\iint_D v(x, y) dx dy = \frac{Ch^2}{30\sqrt{3}} \quad (7)$$

ponieważ

$$|D| = \frac{1}{\sqrt{3}} h^2 \quad (8)$$

więc ostatecznie

$$v_s = \frac{Ch^2}{30} \quad (9)$$

gdzie h jest wysokością trójkąta.

Przyjmując, że spadek ciśnienia p w kierunku przepływu jest stały i wprowadzając oznaczenie $\frac{dp}{dz} = -\gamma J$, równanie (4) przyjmuje postać

$$C = \frac{1}{2\eta} \gamma J \quad (10)$$

Wprowadzając zaś do równania (9) wartość (10) zamiast stałej C , przy uwzględnieniu, że dynamiczny współczynnik lepkości $\eta = \frac{\nu \gamma}{g}$, otrzymujemy szukany

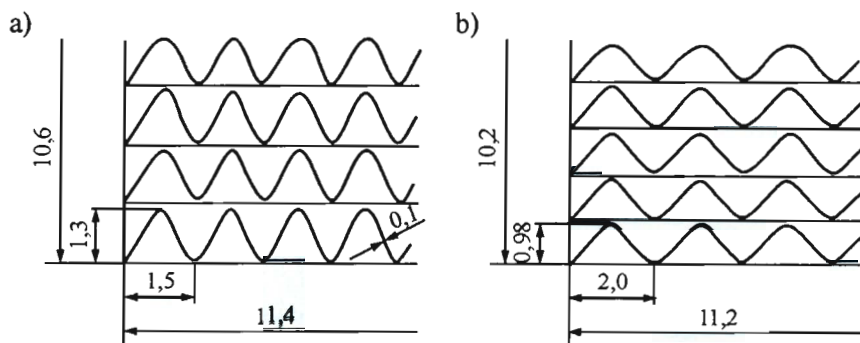
związek zachodzący pomiędzy prędkością v_s a spadkiem hydraulicznym J przy ustalonym przepływie laminarnym przez zamknięty kanał prostoosiowy o przekroju trójkąta równobocznego

$$v_s = \frac{1}{60} \frac{h^2}{\nu} g J \quad (11)$$

3. Badania doświadczalne

Zadaniem tej części pracy jest sprawdzenie doświadczalne zależności funkcyjnej $v_s = f(J)$, podanej w części drugiej równaniem (11). Zmierzając do tego celu wykonano na dość prostym urządzeniu szereg pomiarów.

Pomiary przeprowadzono na dwóch równych segmentach pomiarowych o różnych przekrojach kanalików, a mianowicie na segmencie typu A, składającym się z 98 kanalików o przekroju w postaci trójkąta równobocznego o boku $a = 1,5$ mm (rys. 3a). Wyniki pomiarów na tym segmencie porównano z wynikami uzyskanymi na podstawie równania (11), oraz na segmencie typu B (rys. 3b), składającym się z 99 kanalików o przekroju w postaci trójkąta równoramiennego o podstawie $a = 2,0$ mm i wysokości $h = 0,98$ mm.

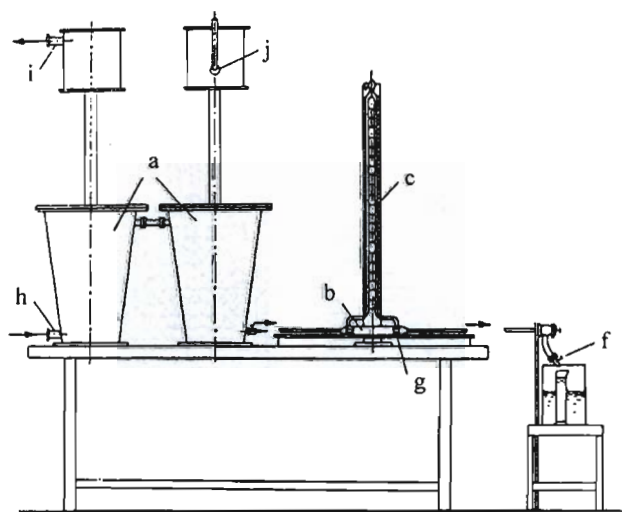


Rys., 3. Przekroje poprzeczne kanalików segmentów pomiarowych typów A i B

Urządzenie doświadczalne i sposób przeprowadzania pomiarów

Proste urządzenie doświadczalne (rys. 4 i 5) składa się z dwóch zbiorników a, segmentu pomiarowego b oraz manometru c [2]. Przepływ wody może być regulowany kurkiem f umieszczonym na wypływie. Wodę do zbiorników doprowadza się przewodem h, zaś przelew i zapewnia stałą wysokość zwierciadła wody w zbiornikach. Poziom wody może być kontrolowany wskaźnikiem j.

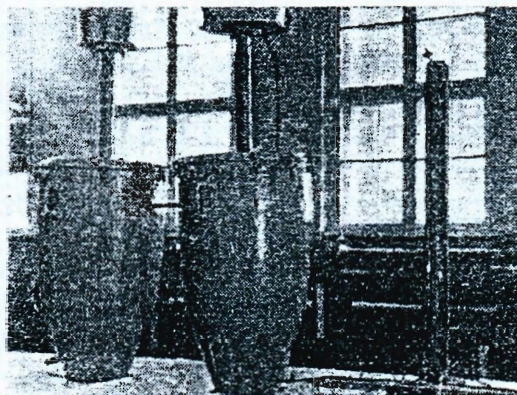
Pomiaru ilości przepływającej wody dokonywano za pomocą cechowanych naczyń, zaś pomiaru czasu wypływu danej ilości wody – za pomocą stopera. Czas trwania jednego pomiaru, po ustaleniu się przepływu, wahał się w granicach 20-60 sek. Podczas pomiaru, jak również bezpośrednio przed i po nim, odczytywano starannie stan manometru. Podstawianie i usuwanie naczyń pomiarowych wykonywało się równocześnie z uruchamianiem stopera. Ze względu na to, że dopływ wody odbywał się z sieci wodociągowej, w której panowały stałe wahania ciśnień, wykonano dwa zbiorniki (a), połączone ze sobą przewodem o średnicy 15 mm, przez co uniknięto wahań ciśnień oraz temperatur.



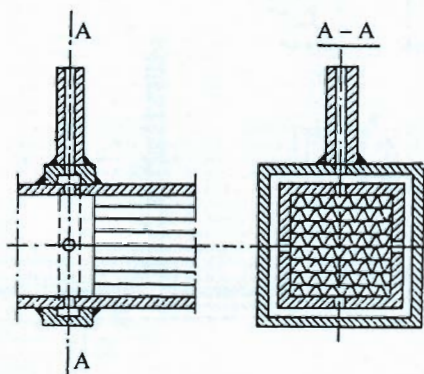
Rys. 4. Schemat urządzenia pomiarowego

Pomiaru temperatury wody dokonywano każdorazowo w zbiorniku odprowadzającym wodę do segmentu pomiarowego oraz na wypływie. W celu dokonania pomiaru spadku wysokości ciśnienia nawiercono na obydwóch końcach segmentu, w miejscach g, w zaczynającej się części stożkowej, promieniowo co 90° cztery

otworki o średnicy 1 mm i starannie usunięto wewnątrz ostre krawędzie. Otworki połączono ze sobą kanalikiem mosiężnym (rys. 5) nasuniętym na zakończenie segmentu pomiarowego.



Rys. 5. Urządzenie pomiarowe



Rys. 6. Odprowadzenie do manometru

Z powodu niewielkich różnic ciśnienia przy przepływie laminarnym konieczne było odczytywanie wysokości ciśnienia z dokładnością, co najmniej 0,5 mm. Przy zastosowaniu odpowiedniego oświetlenia oraz białych pasów jako tła kapilar manometru można było w obszarze przepływu laminarnego otrzymać, przy użyciu prostego manometru wystarczającą dokładność odczytu, pod warunkiem utrzymania w kapilarach szklanych dokładnie oczyszczonej powierzchni wewnętrznej. W tym celu przed pomiarem oczyszczono kapilary roztworem dwuchromianu

kwasu siarkowego. Koniecznym było również dokładne określenie przekroju poprzecznego segmentu pomiarowego.

Oba segmenty pomiarowe wykonano według schematu podanego na rysunku 3 z folii miedzianej o grubości 0,1 mm i szerokości 75 mm która stanowiła długość segmentu pomiarowego l.

Segment typu A (rys. 3a) składał się z 98 kanalików w kształcie trójkąta równobocznego, z których każdy miał powierzchnię przekroju poprzecznego $F_k = 0,975 \text{ mm}^2$. Całkowity wolny przekrój segmentu pomiarowego A miał powierzchnię $F_e = 95,5 \text{ mm}^2$.

Segment typu B (rys. 3b) składał się z 99 kanalików w kształcie trójkąta równoramiennego, z których każdy miał powierzchnię przekroju poprzecznego $F_k = 0,98 \text{ mm}^2$. Całkowity wolny przekrój segmentu pomiarowego B miał powierzchnię $F_e = 97,0 \text{ mm}^2$.

Pomiary na obydwóch segmentach przeprowadzono w całym obszarze przepływu laminarnego.

Wyniki pomiarów

Celem badań było doświadczalne sprawdzenie wyników teoretycznych uzyskanych w części drugiej pracy w kanalikach o przekroju w kształcie trójkąta równobocznego.

Dokonując pomiarów natężenia przepływu Q_s przy różnych spadkach ciśnienia Δp , mierzonych w wysokości słupa wody, i dzieląc otrzymane wartości przez F_e , segmentu otrzymano średnie prędkości przepływu $v_{s_{pom}}$. Spadek hydrauliczny J wyznaczono dzieląc spadek ciśnienia Δp przez długość segmentu pomiarowego $l = 7,5 \text{ cm}$.

Wyniki pomiarów na segmencie typu A oraz prędkości obliczone z wzoru (11) $v_{s_{obl}}$ podano w tablicy 1 i przedstawiono wykreślnie na rysunku 7. Nikłe różnice między wartościami otrzymanymi z pomiarów i obliczeń potwierdzają słuszność analizy teoretycznej przeprowadzonej w części pierwszej pracy, tak że równanie (11) może być używane bez zastrzeżeń w zastosowaniach praktycznych.

Tabl. 1. Segment typu A: $l = 75 \text{ mm}$, $F_e = 0,95 \text{ cm}^2$, $\text{temp.} = 11,7^\circ\text{C}$, $\nu = 0,0125 \text{ cm}^2/\text{sek}$

Q_s	Δp	J	$v_{s\text{pom}}$	v_{sobl}
cm^3/sek	cm sł. wody		cm/sek	
8,4	3	0,4	8,8	8,8
13,8	5	0,667	14,5	14,4
22,4	8	1,067	23,5	23,6
33,9	12	1,6	35,5	35,4
42,3	15	2,0	44,3	44,2
56,2	20	2,667	58,8	59,0
84,2	30	4,0	88,4	88,4
112,2	40	5,333	117,5	117,9
140,5	50	6,667	147,1	147,4
168	60	8,0	176,2	176,8

Tabl. 2. Segment typu B: $l = 75 \text{ mm}$, $F_e = 0,97 \text{ cm}^2$, $\text{temp.} = 9,8^\circ\text{C}$, $\nu = 0,0132 \text{ cm}^2/\text{sek}$

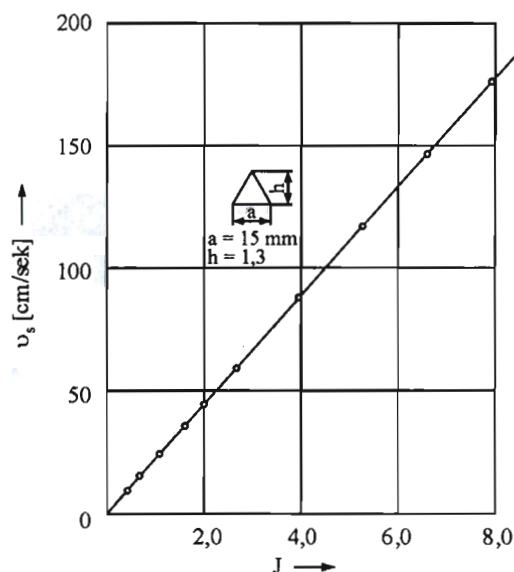
Q_s	Δp	J	$v_{s\text{pom}}$
cm^3/sek	cm sł. wody		cm/sek
4,7	3	0,4	4,8
7,7	5	0,667	7,9
12,4	8	1,067	12,8
18,6	12	1,6	19,2
23,0	15	2,0	23,7
30,6	20	2,667	31,5
45,9	30	4,0	47,3
61,2	40	5,333	63,1
76,6	50	6,667	79,0
93,6	60	8,0	96,5

W tablicy 2 i na rysunku 8 są podane wyniki pomiarów przeprowadzonych w segmencie typu B. Jak widać bezpośrednio z przedstawionych wyników w tablicy 1 i na rysunku 7, badania doświadczalne przepływu laminarnego przez segment typu A potwierdziły słuszność analizy teoretycznej przeprowadzonej w części drugiej pracy, tj. słuszność równania (11), odzwierciedlającego zależność funkcyjną pomiędzy prędkością średnią v_s a spadkiem hydraulicznym J w całym obszarze przepływu laminarnego przez kanał zamknięty o przekroju w kształcie trójkąta równobocznego.

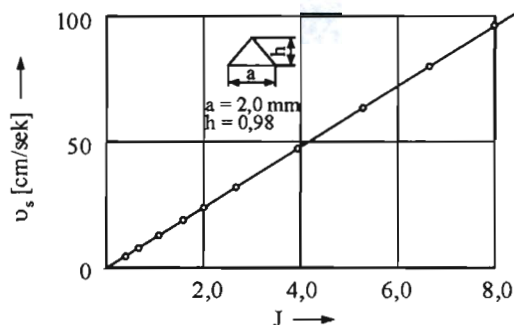
Wyników pomiaru przepływu w segmencie typu B, przedstawionych w tablicy 2 i na rysunku 8, nie porównywano z wynikami uzyskanymi na podstawie rów-

niania (11), ponieważ równanie to jest rozwiązaniem tylko szczególnego przypadku przepływu laminarnego przez kanały o przekroju w kształcie trójkąta równobocznego. Niemniej jednak wyniki te naświetlają również przebieg funkcji $v_s = f(J)$ dla przekroju innego niż trójkąt równoboczny.

Przeprowadzone badania dały możliwość zaprojektowania i wykonania prototypu przepływomierza laminarnego do badania natężenia przepływu pulsacyjnego.



Rys. 7. Wykres zależności (11) z naniesionymi punktami pomiarowymi dla segmentu typu A

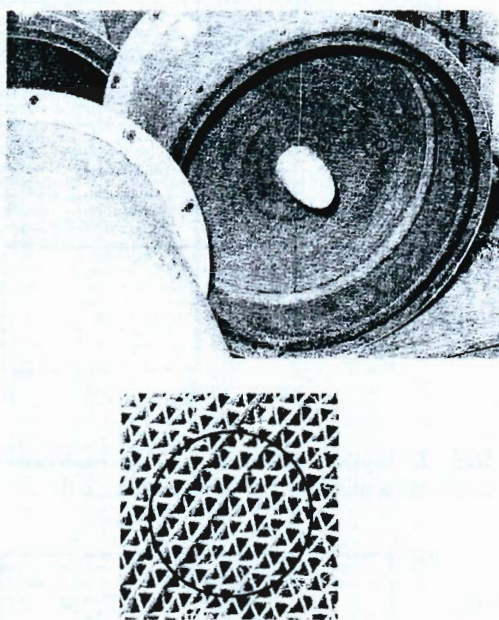


Rys. 8. Wykres zależności $v_s = f(J)$ na podstawie pomiaru przepływu w segmencie typu B

4. Opis przepływomierza

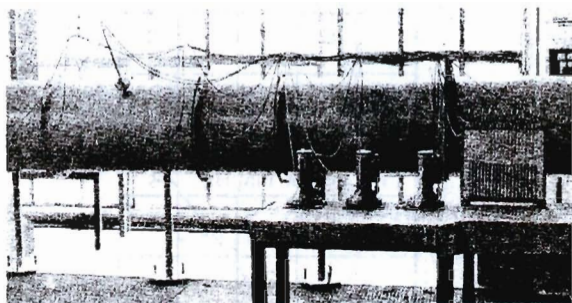
Zaprojektowany i zbudowany w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, przepływomierz laminarny typu Alcocka, został zainstalowany na stanowisku badawczym dla badań maszyn wodnych metodą aerodynamiczną [3]. Przepływomierz ten, przedstawiony w rys. 9 i 10, składa się z wkładki kanałowej, obudowy, rdzenia i odprowadzeń manometrycznych.

Wkładka wykonana jest ze zwiniętych taśm mosiężnych o grubości 0,1 mm, gładkich i karbowanych (rys. 11), w sposób umożliwiający uzyskanie zbioru podłużnych kanalików trójkątnych.



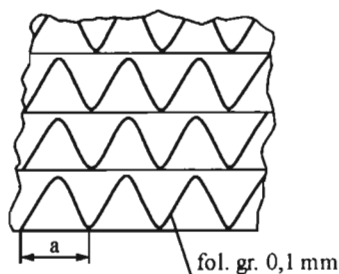
Rys. 9. Mikromanometr typu Askania

Z punktu widzenia technologicznego najkorzystniej, jest wykonać je o przekroju trójkątnym. Przekrój poprzeczny każdego kanalik jest trójkątem równobocznym o boku $a = 2$ mm. Segment pomiarowy zawiera ok. 222 000 kanalików. Długość segmentu pomiarowego $l = 200$ mm. Średnica zewnętrzna wkładki $D = 700$ mm. Średnica rdzenia $d = 110$ mm. Odprowadzenia manometryczne wykonane są z rurek kalibrowanych o średnicy wewnętrznej $\Phi_w = 3$ mm (rys. 10), przechodzących promieniowo przez rdzeń wewnętrzny.



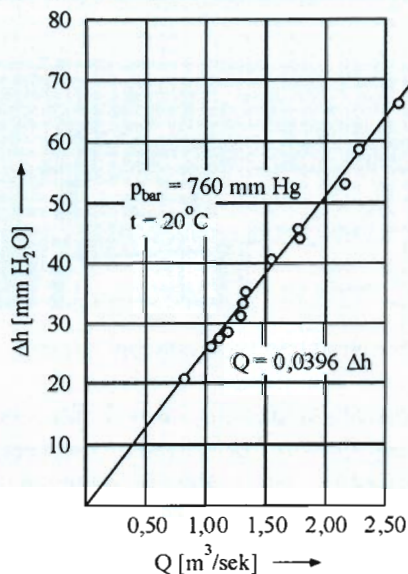
Rys. 10. Przepływomierz laminarny typu Alcocka

Rurki te posiadają otwory o średnicy $\Phi = 1$ mm, nawiercone promieniowo i rozmieszczone co 10 mm. Otworki skierowane są przeciwnie do kierunku przepływu, celem wyeliminowania ewentualnych zaburzeń. Rurki manometryczne umieszczone są w odległości 2 mm od powierzchni czołowych segmentu pomiarowego. Obudowę tworzy część walcowa o średnicy wewnętrznej $\Phi_w = 700$ mm.



Rys. 11. Schemat wkładki przepływomierza

Do pomiaru spadku wysokości ciśnienia w segmencie pomiarowym zastosowano mikromanometr typu Askania połączony przewodami gumowymi z odprowadzeniami manometrycznymi (rys. 9). Cechowanie przepływomierza wykonano bezpośrednio na stoisku badawczym przy pomocy dwu rurek Prandtla umieszczonych za przepływomierzem, posiadającym posuw promieniowy i umieszczonych w stosunku do siebie pod kątem 90° . Pomiar ciśnienia dynamicznego dokonano mikromanometrem typu Askania rys. 9. Wyniki końcowe zredukowane na ciśnienie barometryczne $p_{\text{bar}} = 760$ - mm Hg oraz temperaturę $t = 20^\circ\text{C}$ przedstawiono na wykresie rys. 12, który podaje zależność funkcijną mierzonego spadku wysokości ciśnienia Δp w mikrometrze Askania (w mm st. H₂O w zależności od natężenia przepływu Q w m³/sek.



Rys. 12. Zależność mierzonego spadku wysokości ciśnienia Δp w mikrometrze Askania w funkcji natężenia przepływu Q (dla $p_{\text{bar}} = 760 \text{ mm Hg}$ oraz $t = 20^\circ\text{C}$)

Uwagi końcowe

Jak wynika z analizy matematycznej i sprawdzających badań doświadczalnych przedstawionych w pracy [2] oraz wyników cechowania zainstalowanego przepływomierza, jest on jednym z najprostszych w budowie ze znanych dotychczas rozwiązań przepływomierzy do pomiaru natężenia przepływu. Przepływomierz ten pozwala na bezpośrednie określenie zależności liniowej pomiędzy spadkiem wysokości ciśnienia a natężeniem przepływu w szerokim zakresie zmian prędkości.

Niestety przepływomierz ten nie jest pozbawiony wad.

Pierwszą główną wadą przepływomierza Alcocka są jego zbyt duże wymiary, występujące jaskrawo przy pomiarze znacznych natężeń przepływu objętościowego.

Drugą istotną wadą jest niebezpieczeństwo częstego zanieczyszczania się kanałików tworzących segment pomiarowy, co powoduje zmniejszenie i zniekształcenie przekroju poprzecznego kanałików, pociągając za sobą zwiększenie prędko-

ści przepływającego medium, a więc wzrost strat energetycznych, obrazujących się wzrostem spadku wysokości ciśnienia wzdłuż długości segmentu pomiarowego.

Zmniejszenie i zniekształcenie kanałków pomiarowych powoduje zmianę charakteru przepływu, a więc zmianę charakterystyki przepływomierza.

Przy intensywnej pracy urządzenia pomiarowego, należy zwrócić szczególną uwagę na częste oczyszczanie segmentu pomiarowego.

Błędem byłoby twierdzić, iż dzięki zastosowaniu przepływomierza laminarnego typu Alcocka, problem dokładnego pomiaru natężenia przepływu został wreszcie całkowicie rozwiązany. Jednakże zalety tego przyrządu są tak cenne, że nie tylko rywalizuje on skutecznie z rozwiązaniami innych funkcjonalnie podobnych aparatów, lecz przewyższa je pod wieloma względami.

Dlatego też należy uznać za bardzo celowe wprowadzenie pomiaru natężenia przepływu przy pomocy przepływomierza typu Alcocka do laboratoriów krajowych. Przepływomierz taki powinien stanowić podstawowe ich wyposażenie. Nie bacząc na problem pomiaru natężenia przepływu, należy w tym miejscu jeszcze dodać, że zastosowanie systemu, na którym oparta jest konstrukcja przedstawionego przepływomierza, może być równie dobrze rozpatrywane w związku z bardzo częstą koniecznością tłumienia pulsacji ciśnień w przewodach tłocznych sprężarek i pomp tłokowych.

Literatura

1. **Alcock J.F., Ricardo H.R.** (1936): British Patent Specification.
2. **Burka E.S., Woźny E.** (1959): Ustalony przepływ laminarny przez prostosiowy kanał zamknięty o przekroju trójkątnym, Arch. Bud. Masz. T. VI, str. 3-16, PWN – W-wa.
3. **Burka E.S.** (1961): Stoisko aerodynamiczne do badania maszyn wodnych w laboratorium IMP PAN, Zesz. 3 PWN – W-wa.
4. **Burka E.S.** (1955) Wpływ wstrząsów mechanicznych na tworzenie się ruchu burzliwego, Archiwum Hydrotechniki, t. II, Zesz. 4, PWN – W-wa.
5. **Fleming F. W., Binder R. C.** (1951): Study of linear – resistance flowmeters, Trans. ASME, col. 73, str. 621-624.
6. **Kantorowicz Z. W. Kryłow W. J.** (1950) Приближённые методы высшегого анализа, Moskwa.
7. **Kastner L. J., Shih S. H.** (1951): Critical Reynolds number for steady and pulsating flow. Engineering vol. 172, str. 389-391.

8. **Kastner L. J., Williams T. J.** (1955): Pulsating flow measurements by viscous meter, with particular reference to the airsupply of internal combustion engines. P.I.M.E.
9. **Li Y. T., Lee S. Y.** (1953): A fast – response true mass – rate. Trans. ASME, vol. 75, str. 835-841.
10. **Oppenheim A. K., Cilton F. G.** (1955): Pulsating – flow – measurement. A literature survey. Trans. ASME, vol.77, str. 231-248.
11. **Prandtl L., Tietiens C.** (1931): Hydro-und Aeromechanik. Springer Verlag – Berlin.
12. **Schultz – Grunow F.,** (1941): Durchflussmessverfahren für pulsierende strömung. Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurswesens, vol. 12, str. 117-125, Springer Verlag – Berlin.

RATE – OF – PULSATING FLOW MEASUREMENTS

Summary: This paper is a fragment of a work devoted to the problem of laminar flowmeters for measuring pulsation flow output. In the first part of the paper the author uses the variation method to reduce the problem, of a fixed laminar flow through a rectiaxial duct with a triangular cross-section to an ordinary differential equation with boundary condition. This permits the determination of velocity distribution in the cross section and of the functional relation between the hydraulic drop and the mean velocity (11) in a duct whose cross-section is an equilateral triangle. The second part of the paper contains the experimental results proving the validity of the theoretical deductions.

Edmund Chabowski, Marek Domoradzki,
Wojciech Korpala, Wojciech Weiner*

BADANIA PORÓWNAWCZE PRZESIEWACZY WIBRACYJNYCH O RÓŻNYCH SPOSOBACH NAPĘDU

Streszczenie: W badaniach porównano dwa rozwiązania wielopoziomowego przesiewacza wibracyjnego – z centralnym silnikiem z masami niewyważonymi i dwoma wibratorami umieszczonymi na obwodzie. Celem badań było określenie drogi surowca przesianego na sicie. Stwierdzono, że przy napędzie centralnym można uzyskać drogę zbliżoną do spirali Archimedesesa i znaczne pokrycie sita. Przy napędzie wibratorowym spiralny ruch surowca można uzyskać w początkowym stadium ruchu; następnie dominuje prostoliniowy ruch odśrodkowy. Uzyskanie dobrego pokrycia sita jest tu trudniejsze. Napęd wibratorowy pozwala jednak na stosowanie przelotu osiowego surowca koniecznego często ze względów technologicznych..

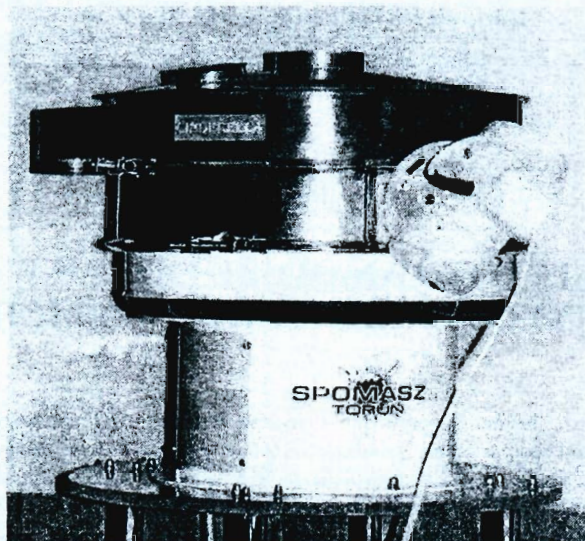
1. Wprowadzenie

Przedmiotem badań były dwie podstawowe wersje separatora wibracyjnego opracowanego (P-334105) w Zakładzie Aparatury Chemicznej i Spożywczej ATR w Bydgoszczy w ramach projektu celowego KBN 7T07C 086 98C/3963 „Wibracyjny, wielopoziomowy przesiewacz do zboża” i wytwarzanych przez „Spomasz” w Toruniu.

Separator wszedł do produkcji w 2001r. W tym też roku uzyskał Złoty Medal na 50. Salonie Wynalazków i Nowych Technologii „Eureka” w Brukseli (rys.1).

Celem badań było uzyskanie informacji o przydatności poszczególnych wersji do konkretnych zastosowań.

* Katedra Technologii i Aparatury Przemysłu Chemicznego i Spożywczego, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Akademia Techniczno-Rolnicza, ul. Seminarjna 3, 85-326 Bydgoszcz



Rys. 1. Model „Cinderella” nagrodzony Złotym Medalem „Eureka”

2. Budowa separatora

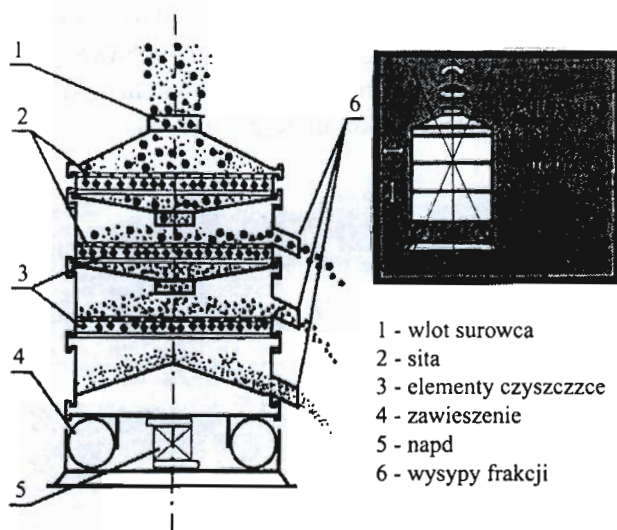
Urządzenie (rys. 2) składa się z: podstawy połączonej zawieszeniem pneumatycznym z segmentem dolnym, na którym montowane są kolejno cylindryczne segmenty sitowe. Każdy segment sitowy składa się z obudowy z wysypem, przegrody perforowanej i sita. Między przegrodą i sitem mogą być umieszczone różnego typu elementy czyszczące. Segmenty są rozbieralne, powtarzalne i umożliwiają stosowanie dowolnego sita. Możliwa jest praca z lub bez elementów czyszczących. Dolna część każdego segmentu (stożkowa) jest zakończona otworem okrągłym, stanowiącym zasyp niższego segmentu. Zestaw segmentów zamyka od góry stożkowa pokrywa z centralnym zasypem. Pokrywę wyposażono we wzornik i ewentualnie końcówkę aspiracji.

Segmenty połączone są ze sobą łatwo rozbieralnymi opaskami łączącymi z uszczelkami.

Napęd przesiewacza mogą stanowić:

- centralnie umieszczony w segmencie dolnym silnik z masami niewyważonymi; taki segment napędowy składa się z obudowy silnika, płyty montażowej i elementów zawieszenia,

- para wibratorów umieszczonych na jednym z segmentów; mogą one mieć różne ustawienie i moc.



Rys. 2. Schemat przesiewacza z napędem centralnym

Moc silnika, moc wibratorów i stopień niewyważenia mogą być dobierane w szerokim zakresie.

Istotą nowego rozwiązania jest zawieszenie pneumatyczne o zmiennej charakterystyce. Zawieszenie to może być wykonane w formie elementu toroidalnego, lub w formie wielokomorowej - zespołu elementów o różnym kształcie, np. kuli-stym.

Elementy pneumatyczne mogą mieć ciśnienie stałe lub regulowane w zależności od konkretnych zastosowań. Ponadto zawieszenie może być realizowane przy pomocy elementów elastomerowych i sprężyn śrubowych o różnych kształtach i charakterystykach.

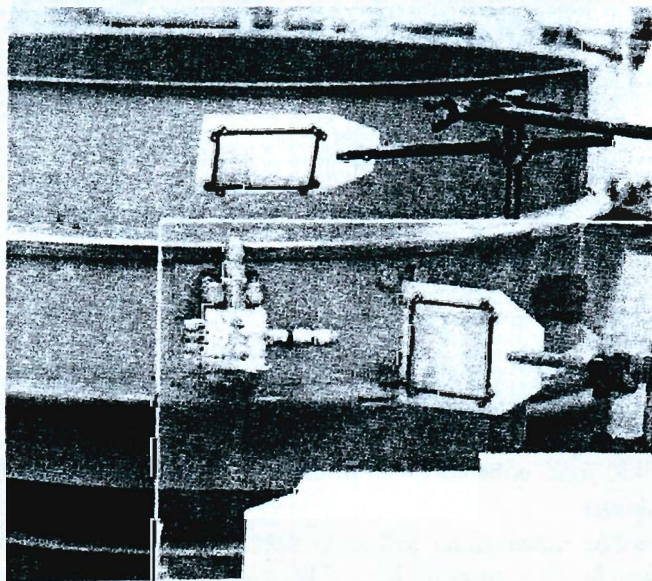
Ruch przesiewacza odbywa się w pionie i poziomie, wykonywane też są ruchy skrętne i wahliwe. Szeroka możliwość wpływania na charakterystykę zawieszenia pozwala na optymalny dobór poszczególnych składowych ruchu, np. możliwość eliminacji składowej pionowej.

Dzięki szczelnej budowie przesiewacz w przedstawionej postaci konstrukcyjnej może służyć również do rozdzielania zawiesin.

3. Zakres badań i stanowisko badawcze

Badano drogę surowca po sicie od zasypu centralnego do wysypu na obrzeżu, wydajność przesiewania, jakość przesiewania i zapotrzebowanie mocy.

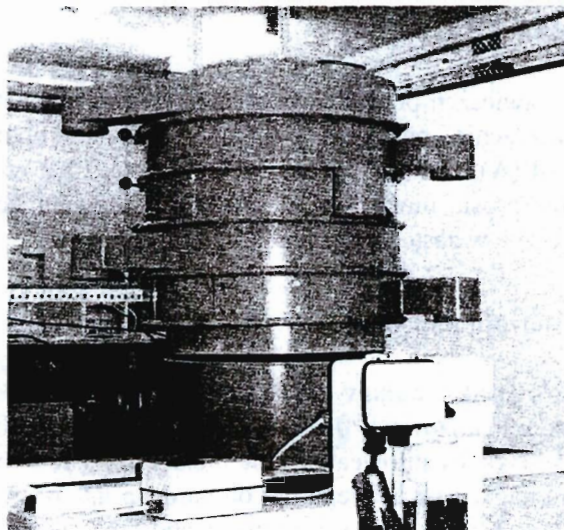
Do badań wykorzystano zaprojektowaną i wykonaną aparaturę specjalną – układ laserowy z kamerą cyfrową i komputerem (rys. 3).



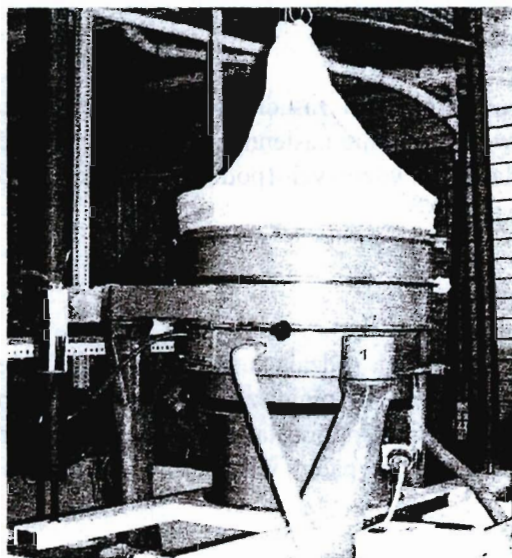
Rys. 3. Optyczny układ pomiarowy zamontowany na przesiewaczu

Separator na stanowisku badawczym przedstawia rys. 4.

Układ pomiarowy pozwala na precyzyjny zapis składowych ruchu urządzenia i nosiwa w funkcji czasu. Zapisane obrazy przemieszczania nosiwa pozwoliły na ich dalszą obróbkę komputerową i weryfikację opracowanego wcześniej matematycznego modelu pracy separatora. Rys. 5 przedstawia separator w trakcie prób z dodatkowym nadmuchem powietrza.



Rys. 4. Model z napędem centralnym



Rys. 5. Stanowisko do badań z dodatkowym nadmuchem powietrza

4. Wyniki badań

W badaniach zawieszonych porównywano zawieszenie pneumatyczne i na sprężynach. Dla zawieszenia pneumatycznego stwierdzono obniżenie głośności o przynajmniej 5 dB(A). O dostrzegalną wielkość – ok.15% wzrosła też wydajność. Uzyskano też prostą możliwość sterowania podrzutem, jego zmniejszenie było szczególnie ważne w zastosowaniach nasiennych.

4.1. Porównanie rodzaju napędów

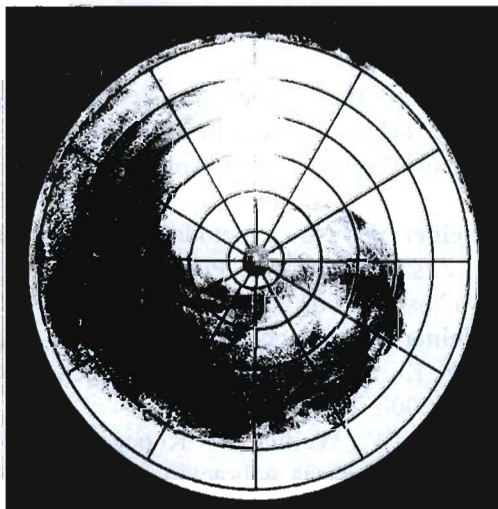
Porównywano napęd centralny z masami niewyważonymi na obu końcach wału silnika i napęd zrealizowany dwoma umieszczonymi na obwodzie wibratorami. Ruch spiralny (rys. 6) surowca na sicie można uzyskać w obu przypadkach, jednak przy użyciu napędu centralnego był on bardziej intensywny. Napęd wibratorowy pozwala na prowadzenie wysypu przez podstawę, co w niektórych układach jest szczególnie cenne (np. nad mieszarką). Również w separatorach do nasion łatwiej wyeliminować pionową składową ruchu sita.

4.2. Porównanie wydajności

Wydajność przesiewania jest zasadniczo ograniczona jakością procesu. Dla niektórych surowców, szczególnie nasiennych, lepszy okazał się napęd wibratorowy, a dla np. granulatów nawozowych (podział na frakcje), zdecydowanie lepszy był napęd centralny.

4.3. Zapotrzebowanie mocy

Przy tej samej wydajności, rodzajach sit, ich ilości i tym samym nosiwie napęd wibratorowy może mieć moc mniejszą niż przy pomocy napędu centralnego. Obecnie prowadzone badania dają podstawę do twierdzenia, że wpływ obciążenia separatora na pobór mocy w przypadku wibratorów jest nieznaczny.



Rys. 6. Spiralny ślad ruchu surowca w przesiewaczu z napędem centralnym

5. Wnioski

Badany separator daje duże możliwości dostosowania go do konkretnych potrzeb technologicznych i szerokie gamy surowców. Choć zasadniczo służy do rozdzielania produktów suchych, może być zastosowany do niektórych zawiesin. Po niewielkich zmianach stanowi dobry separator do nasion (siedmiopoziomowy).

W prowadzonych badaniach wydajność wynosiła od 15-2- kg/h dla drobnych nasion do 600-800 kg/h dla granulatów nawozowych.

Badania zapotrzebowania mocy wykazały nadwyżkę, szczególnie przy napędzie wibratorowym. Będzie to przedmiotem dalszych, pogłębionych badań.

Zastosowane zawieszenie pneumatyczne w formie toroidalnego elementu o regulowanym ciśnieniu wewnętrznym daje dodatkowe możliwości wpływania na charakterystykę urządzenia.

Literatura

1. **Chabowski E., Weiner W.:** Proces przesiewania produktów zbożowych w wielopoziomowym przesiewaczu wibracyjnym, mat. II Międzynarodowej Konferencji „Problemy Budowy oraz Eksploatacji Maszyn i Urządzeń Rolniczych”, Płock 2000.
2. **Chabowski E., Weiner W.:** Nowa metoda pomiaru widma drgań przesiewacza wibracyjnego, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej „Inżynieria chemiczna i procesowa” nr 27, Łódź 2000.
3. **Chabowski E., Weiner W.:** Metoda pomiaru widma drgań przesiewacza wibracyjnego, mat. IX Konferencji Naukowo – Technicznej „BEMS” ‘2000, Opole – Jarnołtówek 2000.
4. **Chabowski E., Korpala W., Weiner W.:** Koncepcja i realizacja nowego typu wielopoziomowego przesiewacza wibracyjnego, mat. IX Konferencji Naukowo – Technicznej „BEMS” ‘2000, Opole – Jarnołtówek 2000.
5. **Chabowski E., Weiner W.:** The sifting process of corn products in multilevel vibration sifter, Proceedings XVI Int.
6. **Chabowski E., Weiner W.:** Koncepcja i model matematyczny przesiewacza wibracyjnego do produktów zbożowych, mat. X Jubileuszowej Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Postęp w Inżynierii Żywności, Krynica 2001.
7. **Chabowski E., Weiner W.:** Układ laserowy do pomiaru ruchu przesiewaczy. Biuletyn OBR Pleszew, Nr 2(15), 2001, 49-54.
8. **Chabowski E., Weiner W.:** Teoretyczny model ruchu przesiewacza wibracyjnego na zawieszeniu pneumatycznym. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego. Instytut Maszyn Spożywczych Warszawa, T 10 2(19) 2001, 21-23.
9. **Chabowski E., Weiner W.:** Badania przemieszczeń materiału na sicie przesiewacza wibracyjnego, mat. X Jubileuszowej Konferencji Naukowo – Technicznej „BEMS” ‘2002, Lublin 2002.
10. **Domoradzki M., Weiner W., Chabowski E.:** Proces kalibracji nasion. Warsztaty Nasiennicze, Katedra Genetyki, Hodowli i Nasiennictwa Akademii Rolniczej w Krakowie, materiały seminarium, Kraków 2000.
11. **Domoradzki M., Korpala W., Weiner W.:** Badania procesu kalibracji nasion. Biuletyn OBR Pleszew, nr 2(15), 2001, 43-48.
12. **Chabowski E., Weiner W.:** Zgłoszenie patentowe Sposób pomiaru trójwymiarowych przemieszczeń obiektu i urządzenie do jego realizacji. (2001)
13. Projekt celowy KBN 7T07C 086 98C/3963, „Wibracyjny, wielopoziomowy przesiewacz do zboża”, Sprawozdanie

14. **Chabowski E., Korpala W., Mleczak M., Weiner W.:** Przesiewacz wibracyjny wg patentu P-334105, Światowa Wystawa Wynalazków „Eureka”, Bruksela 2001 – Złoty Medal.

COMPARATIVE TESTING OF VIBRATING SIEVERS WITH DIFFERENT DRIVERS

Abstract: Two realizations of multi-level vibrating siever were compared. The vibrating siever had the central engine with unweighed mass and two vibrators placed on a circuit. The aim of the test was to state the way of the product sifted on the screen and the cover of the screen.

It was found that with the central drive we can obtain the way similar to the Archimedes spiral and major cover of the screen.

With the vibratory drive the movement of the product in its early stage is spiral, than rectilinear centrifugal movement dominates. Getting the good cover of the screen is more difficult.

The vibratory drive let us use an axial passage of the product which is often important because of the technology.

Leon Demianiuk*

BADANIE SIŁ WYSTĘPUJĄCYCH W MATRYCY BRYKIECIARKI ŚLIMAKOWEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań momentu oraz sił występujących podczas brykietowania rozdrobnionych materiałów pochodzenia roślinnego w brykietarce ślimakowej. Badania przeprowadzono na specjalnie do tego celu skonstruowanym stanowisku. Wyniki badań mogą mieć zastosowanie do obliczeń konstrukcyjnych ślimakowych urządzeń brykietujących.

1. Wprowadzenie

Wraz ze wzrostem ilości wytwarzanych produktów pojawił się problem szybkiego gromadzenia się różnego rodzaju odpadów. Część z nich jest wykorzystywana do ponownego przerobu, ale duże ilości pozostają niezagospodarowane. W ogromnej masie wszystkich odpadów duży procent stanowią materiały drobnoziarniste pochodzenia roślinnego, a najczęściej są to trociny, pyły drzewne, odpady bawełny, lnu, konopi, łupin kawy, łusek ryżowych, łusek gryki, słomy zbóż itp. Niektóre z nich są dużym zagrożeniem dla środowiska, a przykładem mogą być pyły z fabryk mebli, sklejk, płyt wiórowych, których ilość może sięgać od 3 do 13% przerabianej masy. Szacuje się, że tylko w zakładach mechanicznego przerobu drewna w kraju otrzymuje się około 3 milionów ton odpadów rocznie (Filipczak J., Kania S., 1976; Jakubowski Z., Białowicz A., 1981). Tak duża ilość odpadów stwarza szereg problemów związanych z ich zagospodarowaniem. Nie są one pożądane ze względów ekologicznych oraz powodują ponoszenie dodatkowych kosztów związanych z transportem, pozyskiwaniem nowych terenów pod wysypiska itp.

Jednym z najlepszych sposobów utylizacji odpadów jest spalanie. Większość niewykorzystywanych materiałów odpadowych pochodzenia roślinnego posiada

* Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok,

(np. trociny, słoma, kora itp.) dużą wartość opałową (40-60% wartości opałowej węgla kamiennego), toteż stanowi cenny materiał energetyczny. Ważnym argumentem przemawiającym za wykorzystywaniem odpadów do celów energetycznych jest fakt wyczerpywania się źródeł tradycyjnych kopalnianych surowców opałowych. Według prognozy przedstawionej przez Bonewitza (Schulze Lammer P., Hellwig M., 1986) do 2060 roku wyczerpią się energetyczne surowce kopalniane, stąd też już teraz należy szukać alternatywnych materiałów opałowych. Mogą to być materiały odpadowe pochodzenia roślinnego, dlatego zainteresowanie utylizacją odpadów drogą bezpiecznego spalania jest coraz większe (Kania S., 1997).

Większość odpadowych materiałów drobnoziarnistych nie nadaje się do spalania w konwencjonalnych piecach, a budowa urządzeń o specjalnej konstrukcji pociąga za sobą duże koszty. Tańszym rozwiązaniem jest brykietowanie oraz spalanie brykietów w zwykłych piecach rusztowych (Grajewski w. 1990; Cichy W. 1994; Hejft R., 1997; Lis W., Schroeder G., 1998). Urządzenia do brykietowania są znacznie tańsze od specjalnych pieców i mogą być wykorzystane nawet w małych zakładach produkcyjnych.

Dużym plusem spalania brykietów jest to, że w spalinach nie ma SO_2 a tylko bardzo małe ilości N_2O_5 i CO_2 , pozostała po spalaniu niewielka ilość popiołu może być wykorzystana jako nawóz.

Z ekonomicznego i ekologicznego punktu widzenia, najlepszym rozwiązaniem jest brykietowanie materiałów drobnoziarnistych bez użycia lepiszcza i bez dodatkowej obróbki wstępnej, takiej jak rozdrabnianie, suszenie, przesiewanie itp. (Tripathi A.K., 1998, 1998a) Biorąc pod uwagę duże ilości surowca już przetwarzanego za pomocą brykietowania, dla zapewnienia ekonomicznej opłacalności przerobu, konieczna jest optymalizacja procesu zagęszczania. Pomimo istnienia wielu urządzeń do zagęszczania i brykietowania, nie ma dotychczas spójnej teorii opisującej te procesy w sposób przydatny dla inżyniera projektującego takie urządzenia.

Zasadniczym problemem w konstrukcji brykieciarek jest: określenie kształtu elementów roboczych, wyznaczenie sił i prędkości zagęszczania, „doskonalenie” konstrukcji układu roboczego. Dodatkową trudność w opisie teoretycznym procesu sprawiają zmienne właściwości surowca, zależne od wielu czynników takich jak: miejsce pozyskiwania, rozdrobnienie, sposób obróbki, temperatura, skład chemiczny, czas leżakowania itp.

Wytwarzanie brykietów powinno odbywać się przy jak najmniejszej energochłonności procesu. Produkt końcowy – brykiet powinien mieć odpowiednią wartość opałową, a jednocześnie być odporny na uszkodzenia mechaniczne podczas transportu. Aby sprostać tym wymaganiom istnieje potrzeba prowadzenia badań procesu brykietowania, doskonalenia konstrukcji urządzeń do zagęszczania oraz

poszukiwania innych technologii zagęszczania odpadowych materiałów rozdrobnionych.

2. Sposoby otrzymywania brykietów

Najczęściej stosowanymi sposobami otrzymywania brykietów jest ciśnieniowe zagęszczanie (tłokiem zagęszczającym):

- w matrycy zamkniętej,
- w matrycy otwartej.

Brykietowanie materiałów roślinnych w matrycy zamkniętej ma następujące zalety (Hejft R., 1995, 1995a):

- możliwość brykietowania różnych materiałów roślinnych w tej samej matrycy,
- małe straty energii na tarcie zagęszczanego produktu.
- Do wad należy zaliczyć:
 - skomplikowany mechanizm podawania materiału do matrycy,
 - skomplikowany mechanizm zamykania i otwierania matrycy,
 - mała wydajność.

Proces brykietowania odpadowych materiałów roślinnych w matrycy zamkniętej nie znajduje szerokiego, praktycznego zastosowania. Lepszym sposobem wytwarzania brykietów jest zagęszczanie w matrycy otwartej. Sposób ten pomimo wielu zalet takich jak:

- mało skomplikowany układ roboczy,
- ciągłość wytwarzania brykietów,
- prosty sposób podawania surowca,
- duża wydajność,

posiada wady, które decydują o opłacalności brykietowania, a są to:

- duża energochłonność procesu,
- mała wytrzymałość brykietu na granicy łączenia kolejnych prasowanych porcji.

W pracy Demianiuka L., Hejfta R., Seweryna A., (1999, 1999a) przedstawiono wyniki badań procesu brykietowania trocin świerkowych w matrycy zamkniętej i otwartej. Wyniki te posłużyły do budowy nowego układu zagęszczającego ślimak-matryca otwarta.

3. Stanowisko do pomiaru sił w matrycy brykociarki ślimakowej podczas zagęszczania trocin świerkowych

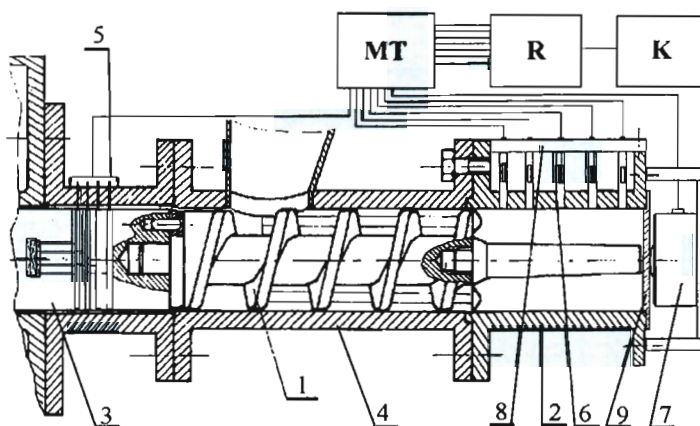
Przy wyborze koncepcji stanowiska wykorzystano doświadczenia z badań własnych nad zagęszczaniem materiałów drobnoziarnistych w komorze zamkniętej i otwartej.

Projektowane stanowisko powinno zapewnić wykonanie pomiaru następujących parametrów w matrycy otwartej brykociarki ślimakowej:

- nacisków bocznych na zadanej długości matrycy,
- nacisków zagęszczających w określonej odległości od ślimaka zagęszczającego,
- momentu obrotowego na wale ślimaka

3.1. Opis stanowiska

Schemat układu roboczego stanowiska pomiarowego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska do pomiaru nacisków promieniowych, nacisków na dno matrycy prasującej oraz momentu obrotowego brykociarki ślimakowej: 1-ślimak zagęszczający, 2-matryca pomiarowa, 3-wał motoreduktora, 4-tuleja gardzieli, 5-układ pomiarowy momentu, 6-tłoczki pomiarowe, 7-czujnik siły, 8-belka oporowa tłoczków, 9-denno matrycy.

W stanowisku wykorzystano motoreduktor o zmiennej prędkości obrotowej w zakresie 31-138 obr/min. Na wale reduktora 3 zamontowano układ do pomiaru momentu 5 składający się z tensometrów, pierścieni ślizgowych oraz szczotek.

Napęd na ślimak zagęszczający *1* przekazywany był bezpośrednio z wału reduktora. Ślimak obraca się w tulei gardzieli *4*. Na powierzchni wewnętrznej tulei *4* wyfrezowano rowki o szerokości 12 mm i głębokości 3 mm na długości od końca zasypu do części wyjściowej. Do kołnierza tulei gardzieli *4* przymocowano matrycę pomiarową *2*, w której znajdują się otwory na przesuwne tłoczki pomiarowe *6* rozmieszczone na długości matrycy. Tłoczki pomiarowe spasowano suwliwie z otworami matrycy i zablokowano belką oporową *8*. W celu zrównania powierzchni czołowej tłoczków z powierzchnią wewnętrzną matrycy wykonano szlifowanie zmontowanej matrycy pomiarowej *2*. Na tłoczkach pomiarowych *6* naklejone zostały pełne pomiarowe mostki tensometryczne. Na końcu matrycy pomiarowej zamontowano denko *9* dociśnięte przez czujnik siły z obudową *7*.

Przewody mostków pomiarowych tłoczków *6*, czujnika siły *7* oraz układu pomiarowego momentu *5* połączono z kolejnymi kanałami mostka Hottingera KWS/6-5 (*MT*) a następnie z rejestratorem MC 201 (*R*). Wyniki pomiarów rejestrowano za pomocą komputera (*K*).

4. Przebieg pomiarów i wyniki badań

W celu pomiaru parametrów wymienionych w punkcie 3 ustalono wstępne założenia do badań:

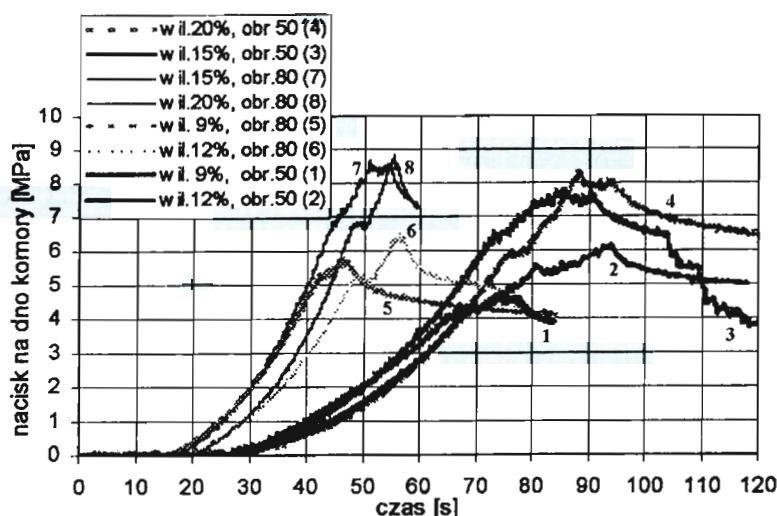
- materiał zagęszczany – trociny świerkowe o składzie granulometrycznym – 0,5-5 mm,
- wilgotność trocin – 9, 12, 15, 20 %,
- obroty ślimaka – 50, 80 obr/min,
- matryca – średnica 68 mm, zamknięta na długości 125 mm,
- czas pomiaru – do chwili ustania narastania nacisków (do czasu zakończenia przesuwania się materiału zagęszczanego w gardzieli brykieciarki),
- temperatura układu zagęszczającego – około 22°C,
- kształt układu roboczego – stały.

4.1. Pomiar nacisków na dno matrycy

Pomiary nacisków na dno matrycy nanoszono na wykresy jako średnie wartości z pięciu prób dla różnych założonych parametrów wstępnych. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 2.

Z badań wynika, że obroty ślimaka wpływają na szybkość narastania nacisków na dno matrycy zamkniętej brykieciarki ślimakowej.

Naciski na dno matrycy osiągają różne wartości w zależności od wilgotności zagęszczanego materiału. Różnice nacisków, np. przy obrotach ślimaka 80 obr/min i wilgotności trocin 9% (krzywa 7 na rysunku 2) oraz wilgotności trocin 15-20% przy tych samych obrotach ślimaka, wynosiły około 4 MPa. Podobne wartości różnicy nacisków, przy różnych wilgotnościach surowca zagęszczanego, otrzymano przy obrotach ślimaka zagęszczającego 50 obr/min.



Rys. 2. Średnie naciski na dno matrycy zamkniętej brykociarki ślimakowej

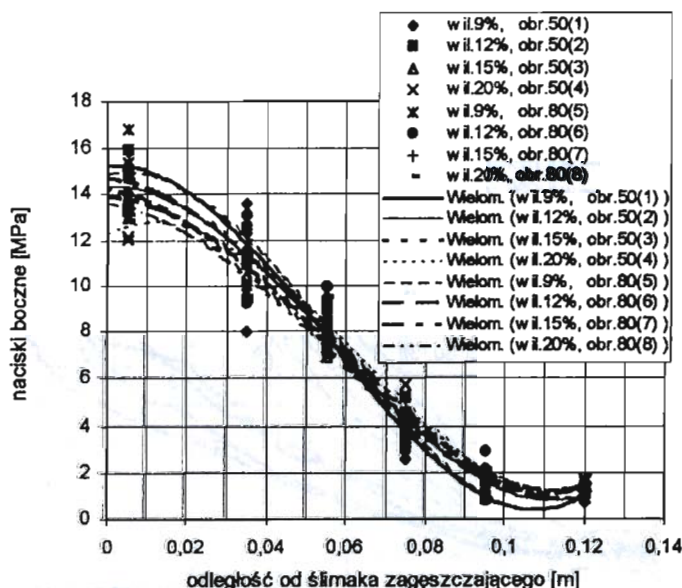
4.2. Pomiary nacisków bocznych

Wyniki pomiarów nacisków bocznych (promieniowych) w matrycy zamkniętej brykociarki ślimakowej przedstawiono na rysunku 3.

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

Wilgotność materiału ma wpływ na wartość nacisków bocznych, co ilustrują krzywe regresji na rysunku 3. W pobliżu ślimaka różnice nacisków bocznych, dla różnych wilgotności wynoszą około 4 MPa a przy dnie matrycy około 1 MPa. Zmiana obrotów ślimaka nie powoduje znaczących zmian wartości nacisków bocznych.

Na podstawie wyników pomiarów, określono metodą regresji wielokrotnej równania wielomianowe trzeciego stopnia opisujące rozkład nacisków bocznych na długości matrycy zamkniętej brykociarki ślimakowej.



Rys. 3. Rozkład nacisków promieniowych w matrycy zamkniętej brykociarki ślimakowej

Przykładowe równania rozkładu nacisków bocznych (pomiarów przy wilgotności trocin 9% i obrotach 80 min^{-1} – krzywa 5 rys.3, oraz wilgotności 9% i obrotach ślimaka 50 min^{-1} – krzywa 1 rys. 3) przedstawiono poniżej.

$$Y_5 = 27291x^3 - 4851x^2 + 64,014x + 16,158 \quad (1)$$

$$Y_1 = 29629x^3 - 5054,4x^2 + 67,447x + 14,486 \quad (2)$$

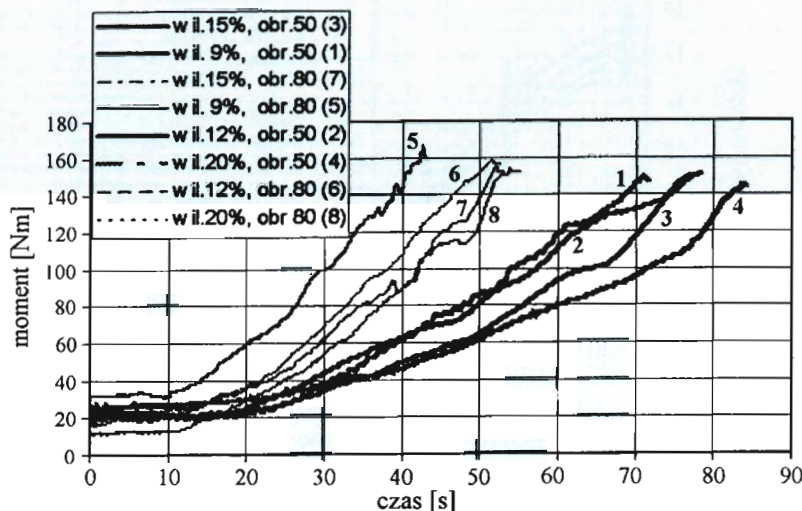
gdzie:

x – odległość od ślimaka zagęszczającego [m], Y – naciski promieniowe [MPa].

4.3. Pomiar momentu

Wyniki pomiarów momentu obrotowego podczas zagęszczania trocin w matrycy zamkniętej brykociarki ślimakowej przedstawiono na rysunku 4.

Z rysunku 4 wynika, że moment do czasu ścięcia materiału między ślimakiem a tuleją gardzieli osiąga wartości od 145 do 180 Nm w zależności od wilgotności materiału i obrotów ślimaka. Parametry te wpływają też na szybkość zwiększania się momentu podczas zagęszczania. Przykładowo, przy wilgotności surowca 20% i obrotach 50 obr/min, maksymalny moment (145 Nm) uzyskano po 84s (krzywa 1, rys.4), a przy 9% wilgotności i takich samych obrotach – po 73s (krzywa 7 rys.4).



Rys. 4. Zależność średniej wartości momentu obrotowego od wilgotności trocin i prędkości obrotowej ślimaka

5. Wnioski

Przeprowadzone badania układu roboczego brykietarki ślimakowej z zamkniętą matrycą pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- wilgotność surowca ma istotny wpływ na proces zagęszczania materiałów rozdrobnionych,
- wilgotność zagęszczanego materiału ma wpływ na wartość momentu obrotowego ślimaka, lecz zależy on głównie od konstrukcji układu ślimak – tuleja gardzieli,
- istnieje duże podobieństwo wyników badań brykietarki ślimakowej z wynikami badań laboratoryjnych układu roboczego tłok-matryca zamknięta, tłok-

matryca otwarta. Wyniki badań laboratoryjnych mogą być wykorzystane w celu doskonalenia technologii zagęszczania trocin w brykietarce ślimakowej (Demianiuk i inni, 1998, 1999a, 1999b, 2000).

Literatura

1. **Cichy W.:** (1994) Spalanie odpadów drzewnych, Ekopartner, Nr 2, 8.
2. **Demianiuk L.:** (1998) Stanowisko do rejestracji sił występujących podczas brykietowania w komorze zamkniętej. VIII Konferencja Naukowo-Techniczna, Budowa i Eksploatacja maszyn Przemysłu Spożywczego, Białystok-Białowieża, 2-4 września, s. 67-74.
3. **Demianiuk L., Hejft R., Seweryn A.:** (1999a) Doświadczalna analiza sił i odkształceń występujących podczas zagęszczania materiałów drobnoziarnistych w komorze zamkniętej. Zeszyty Naukowe P. B. Nauki Techniczne Nr 130, ser. Mechanika z. 21.
4. **Demianiuk L., Hejft R., Seweryn A.:** (1999b) Siły i odkształcenia występujące podczas zagęszczania materiałów drobnoziarnistych w komorze otwartej – doświadczalna analiza sił i odkształceń. Zeszyty Naukowe P.B. Nauki Techniczne Nr 130, ser. Mechanika z. 21.
5. **Demianiuk L., Seweryn A.:** (2000) Doświadczalna analiza wartości sił tarcia zewnętrznego podczas zagęszczania trocin w komorze zamkniętej i otwartej. Zeszyty Naukowe P.B. Nauki Techniczne Nr 130, ser. Mechanika z. 22, s. 161-178.
6. **Filipczak J., Kania S.:** (1976) Dobór optymalnych parametrów prasowania pyłów drzewnych dla celów energetycznych. Poznańskie towarzystwo Przyjaciół Nauk, Prace Komisji Technologii Drewna, t. VI.
8. **Grajewski W.:** (1990) Utylizacja odpadów w zakładach meblarskich krajów rozwiniętych. Przemysł Drzewny. Nr 3, s. 17-18.
9. **Hejft R., Demianiuk L.:** (1997) Urządzenie do brykietowania trocin i wiórów. Zgłoszenie w Urzędzie Patentowym P-323690.
10. **Hejft R. (1995):** Wpływ nacisków prasujących na gęstość brykietów z pasz słoimiastych, formowanych w komorach zamkniętych. Budowa i Eksploatacja Maszyn. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej Nr 3, s. 43-50.
11. **Jakubowski Z., Białowicz A.:** (1981) Kierunki i możliwości wykorzystania przemysłowych odpadów drzewnych na przykładzie przemysłu tartaczego i meblarskiego. Doskonalenie sposobów wykorzystania odpadów drzewnych

- oraz poprawa gospodarki energetycznej w tartakach i zakładach meblarskich. Materiały Konferencyjne TNOIK, Zielona Góra.
12. **Lis W., Schroeder G.: (1998)** Problemy ekologiczne w przemyśle drzewnym. *Przemysł Drzewny*. Nr 5. s. 6-8.
 13. **Schulze Lammers P., Hellwig M.: (1986)** Brennverhalten verschiedener pflanzlicher Brennstoffe. *Landtechnik*, 6, s. 246-248.
 14. **Tripathi A. R., Iyer P. V. R., Kandpal T. C., Singh K. K.: (1998a)** Assessment of availability and costs of some agricultural residues used as feedstocks for biomass gasification and briquetting in India. *Energy Conversion And Management*, Vol: 39, Issue: 15 October, pp. 1611-1618.
 15. **Tripathi A. R., Iyer P. V. R., Kandpal T. C.: (1998b)** A techno-economic evaluation of biomass briquetting in India. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 14, Issue: 5/6, s. 479-488.

MEASURING FORCES APPEARING IN THE MATRIX OF (SNAIL BRIQUETING DEVICE)

Summary: The article demonstrates tests of momentum and forces appearing, while briquetting crumbled materials of plant origin in a snail briquetting device. Tests were run on an especially constructed stand. Results can be used for construction calculations of snail briquetting device.

Marek Domoradzki, Wojciech Korpál, Wojciech Weiner*

BADANIA CIĄGŁEGO PRZESIEWACZA WIBRACYJ- NEGO DO KALIBRACJI NASION MARCHWI

Streszczenie: Zastosowano ciągły wielopokładowy przesiewacz wibracyjny do kalibracji nasion marchwi. Wyznaczono doświadczalnie rozkłady wielkości ziaren w zbiorach – partiach nasion marchwi. Na podstawie wykonanych badań wyznaczono zakresy wielkości sit do kalibracji nasion marchwi od 1,2 do 2,4 mm co 0,2 mm. Wykazano, że kalibracja pozwala na podniesienie jakości nasion i wybranie z partii nasion, nasion najlepiej kiełkujących.

1. Wprowadzenie

Nasiona po zbiorze przechodzą czyszczenie wstępne, które odbywa się u rolnika na plantacji w maszynach zbierających nasiona z pola, a bardzo często na sitach ręcznych. Oczyszczanie wstępne polega na rozdzieleniu nasion od zanieczyszczeń w postaci piasku, części nasienników, obcych nasion i innych zanieczyszczeń zebranych z plantacji nasiennej.

Proces dokładnego czyszczenia nasion odbywa się w zakładach nasiennych dysponujących specjalistycznymi maszynami czyszczącymi. Nasiona surowe w procesie czyszczenia są jednocześnie przesiewane i odwiwane w strumieniu powietrza. Usuwa się w ten sposób duże i małe zanieczyszczenia, oraz odwiwane są frakcje lekkie o tych samych wymiarach co ziarno [1,5]. Po operacjach czyszczenia nasiona są dosuszane do wilgotności normowej i poddawane kontroli czystości, zdolności kiełkowania i wilgotności. Coraz częściej wykonuje się badania

* Katedra Technologii i Aparatury Przemysłu Chemicznego i Spożywczego, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Akademia Techniczno-Rolnicza, ul. Seminarjna 3, 85-326 Bydgoszcz

zdrowotności nasion polegające na oznaczaniu zasiedlających je patogenów: przeważnie wirusów i grzybów chorobotwórczych.

Nasiona roślin rolniczych i ogrodniczych do upraw polowych są przeważnie zbiorem o zmiennych wymiarach i kształtach. Zmienność ta charakterystyczna dla danego gatunku i odmiany wynika także z warunków klimatycznych i agrotechnicznych oraz roku zbioru.

Badania laboratoryjne i polowe nasion rozdzielonych na frakcje sitowe, wykazały, że energia i zdolność kiełkowania nasion oraz plony są zależne od ich wielkości [8-10]. Wiadomo, że na plantacji rośliny nie zakwitają jednocześnie ani też nasiona nie dojrzewają jednocześnie.

W przypadku roślin baldaszkowatych np. marchwi, wielkość nasion zależy od gęstości roślin w rzędzie i rozstawu rzędów roślin w polu, oraz pory zbierania nasion. Z plantacji roślin baldaszkowatych ustawionej na dojrzałość nasion dla II rzędu baldachów, nasiona dobrze kiełkujące będą drobniejsze niż nasiona z I rzędu. Zanieczyszczenie zbioru nasionami niedojrzałymi z III rzędu baldachów (nasiona najdrobniejsze) i słabo kiełkującymi (bo niedojrzałe) pogorszy jakość zbioru. Przyjmuje się, że nasiona największe są popękane i zakażone grzybami, zaś nasiona drobne przeważnie są niedojrzałe i słabo kiełkują. Nasiona większe i cięższe gwarantują zazwyczaj większe i dorodniejsze wschody roślin w polu dając zasiewy o lepszej jakości i wyrównanej wielkości oraz wyższe plony [4]. Wynika stąd również wyższa cena dużych frakcji nasion.

Odrębnym problemem jest precyzyjny rozdział nasion tej samej wielkości; na lekkie i ciężkie dokonywany w strumieniu powietrza lub w cieczy. Do tego procesu nasiona muszą być kalibrowane.

2. Kalibracja nasion

Kalibracja nasion polega na ich rozdzieleniu według wielkości na szereg frakcji sitowych. Po sprawdzeniu zdolności kiełkowania wybiera się frakcje najlepiej kiełkujące. Przyjmuje się że nasiona o tej samej wielkości równomiernie kiełkują w polu, dając wyrównane zasiewy i równoczesne zbiory. Proces kalibracji jest stosowany przez europejskie firmy nasienne przy produkcji nasion dla plantatorów. Kalibracja nasion pozwala na uzyskanie następujących efektów:

- usunięcie z partii nasion zanieczyszczeń (efekt doczyszczania),
- eliminację ze zbioru nasion drobnych,
- wybranie frakcji nasion najlepiej kiełkujących,
- równomierne wschody roślin w polu,

- wyrównany pod względem wielkości plon,
- umożliwienie zastosowania nowoczesnych siewników podciśnieniowych,
- uproszczenie procesów technologicznych przygotowania nasion do siewu (rozdział pneumatyczny, suszenie fluidalne, powlekanie i otoczkowanie nasion).

W efekcie uzyskuje się zdecydowane polepszenie jakości nasion.

Można spodziewać się także efektów negatywnych takich jak:

- rozproszenie w partii nasion zakażeń mikrobiologicznych i pogorszenie zdrowotności,
- wystąpienie strat ilościowych z powodu utylizacji frakcji nasion nie kiełkujących,
- kumulacja w jednej frakcji sitowej zanieczyszczeń obcymi nasionami,
- dodatkowe nakłady na kalibrację,
- powstanie w ramach tej samej partii nasion kilku frakcji o różnych zdolnościach kiełkowania i dodatkowe koszty analiz każdej frakcji.

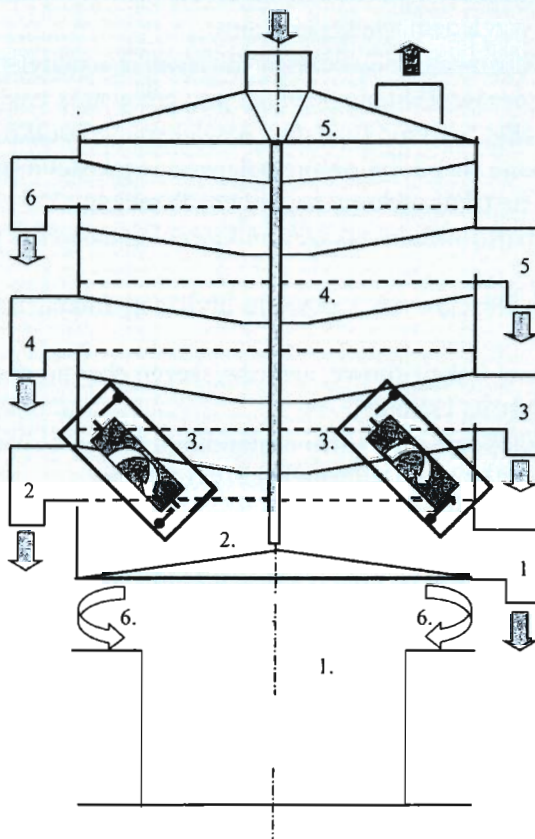
W sumie kalibracja podnosi cenę nasion.

Dla realizacji procesu sortowania nasion na frakcje pod względem wielkości ziaren stosuje się przesiewacze zwane kalibratorami. Są to przeważnie przesiewacze sitowe o różnej konstrukcji opisane w literaturze [3]. Dla większości przypadków kalibracji nasion stosuje się sita z otworami okrągłymi co 0,2 lub 0,5 mm.

W przemyśle nasiennym brak wysokowydajnych maszyn kalibrujących nasiona. Ponieważ precyzja rozdziału rośnie wraz z drogą nasion na sicie, poszukuje się takiej konstrukcji, która zrealizuje ten postulat w stosunkowo małym urządzeniu. Drugim wymogiem jest brak podrzutu na sicie. Wynika to z budowy ziaren podłużnych, które powinny się rozdzielać według największego wymiaru.

3. Budowa przesiewacza

Zbudowany w ATR w Bydgoszczy prototyp kalibratora do nasion jest wielopokładowym ciągłym przesiewaczem wibracyjnym o ruchu kołowym materiału na sicie. Na podstawie przesiewacza zamontowano kolumnę sit wspartą na sprężynach. Kolumnę montuje się z powtarzalnych segmentów, w których są umieszczane sita. Każdy segment odprowadza materiał z sita do króćca przesypowego i dalej rurą do odbieralnika frakcji. Kolumnę od góry zamyka pokrywa z króćcem doprowadzającym materiał i otworem do odpylania urządzenia. Schemat przesiewacza przedstawiono na rys 1.



Rys. 1. Schemat przesiewacza ciągłego: 1 – podstawa przesiewacza, 2 – podstawa kolumny sit, 3 – wibratory, 4 – segmenty kolumny sitowej, 5 – pokrywa, 6 – zawieszenie sprężynowe.

Wibratory: Dla wygenerowania drgań obiegowych i poziomych montuje się segment z dwoma wibratorami ustawionymi naprzeciw siebie. Wibratory są silnikami 3 fazowymi z nie wyważonymi masami na końcach wału silnika.

Sita: Sita przesiewacza składają się z kołnierza stalowego o grubości 5 mm z naklejonymi sitami blaszanymi o grubości od 0,3 do 0,5 mm i średnicy 600 mm. Pod każdym sitem znajdują się elementy czyszczące. Dla kalibracji nasion marchwi zastosowano sita blaszane z otworami okrągłymi ustawionymi w ciągu od 0,8 do 2,6 mm co 0,2 mm.

4. Badania kalibracji nasion

Badania kalibracji prowadzono na przesiewaczu z wibratorami bocznymi i sześcioma segmentami sitowymi. Nad przesiewaczem umieszczono dozownik nasion o wydajności 5-10 kg/godz.

4.1 Materiał badany

Do badań kalibracji nasion użyto nasion marchwi: Karo F1, Dolanka, Flacoro, Pierwszy Zbiór, Perfekcja.

4.2. Wyniki badań

Wyniki kalibracji przedstawiono w tabelach 1-7 i na wykresach (rys. 2 i 3).

Tab. 1. Wyniki kalibracji nasion marchwi Karo F1 (partia nr 112110/106) oraz wyniki zdolności kiełkowania poszczególnych frakcji

Lp.	wymiar oczka sita [mm]	średnia średnica ziarna d_{sr} [mm]	udział frakcji w zbiorze [% mas.]	pozostałość na sicie R [% mas.]	zdolność kiełkowania ZK [%]
1	1,2	1,10	7,05	7,05	73%+zanieczyszcz.
2	1,4	1,30	15,53	22,57	81%
3	1,6	1,50	21,14	43,71	73%
4	1,8	1,70	25,08	68,79	81%
5	2,0	1,90	22,67	91,46	76%
6	2,2	2,10	6,93	98,39	77%
7	2,4	2,30	1,61	100,00	69%

Tab. 2. Wyniki kalibracji nasion marchwi Dolanka (partia nr 03356/TO) oraz wyniki zdolności kiełkowania poszczególnych frakcji

Lp.	wymiar oczka sita [mm]	średnia średnica ziarna d_{sr} [mm]	udział frakcji w zbiorze [% mas.]	pozostałość na sicie R [% mas.]	zdolność kiełkowania ZK [%]
1	1,2	1,10	0,74	0,74	77%
2	1,4	1,30	9,59	10,32	85%
3	1,6	1,50	16,37	26,7	89%
4	1,8	1,70	30,14	56,83	87%
5	2,0	1,90	28,00	84,84	90%
6	2,2	2,10	14,95	99,79	90%
7	2,4	2,30	0,21	100,00	zanieczyszczenia

Tab. 3. Wyniki kalibracji nasion marchwi Flacoro (partia nr 1173K) oraz wyniki zdolności kiełkowania poszczególnych frakcji

Lp.	wymiar oczka sita [mm]	średnia średnica ziarna d_{sr} [mm]	udział frakcji w zbiorze [% mas.]	pozostałość na sicie R [% mas.]	zdolność kiełkowania ZK [%]
1	1,2	1,10	3,05	3,05	55% (zanieczyszc.)
2	1,4	1,30	20,28	23,33	55% (zanieczyszc.)
3	1,6	1,50	23,52	46,85	65%
4	1,8	1,70	39,10	85,95	72%
5	2,0	1,90	13,07	99,02	55%
6	2,2	2,10	0,94	99,96	59%
7	2,4	2,30	0,04	100,00	64%

Tab. 4. Wyniki kalibracji nasion marchwi Flacoro (partia nr 1262K) oraz wyniki zdolności kiełkowania poszczególnych frakcji

Lp.	wymiar oczka sita [mm]	średnia średnica ziarna d_{sr} [mm]	udział frakcji w zbiorze [% mas.]	pozostałość na sicie R [% mas.]	zdolność kiełkowania ZK [%]
1	1,2	1,10	0,83	0,83	74% – śmieci
2	1,4	1,30	7,92	8,76	76% – chwasty
3	1,6	1,50	27,67	36,43	75%
4	1,8	1,70	35,71	72,14	76%
5	2,0	1,90	21,23	93,37	85%
6	2,2	2,10	6,44	99,81	71%
7	2,4	2,30	0,19	100,00	73% – odpad

Tab. 5. Wyniki kalibracji nasion marchwi Pierwszy Zbiór (partia nr 405/2000) oraz wyniki zdolności kiełkowania poszczególnych frakcji

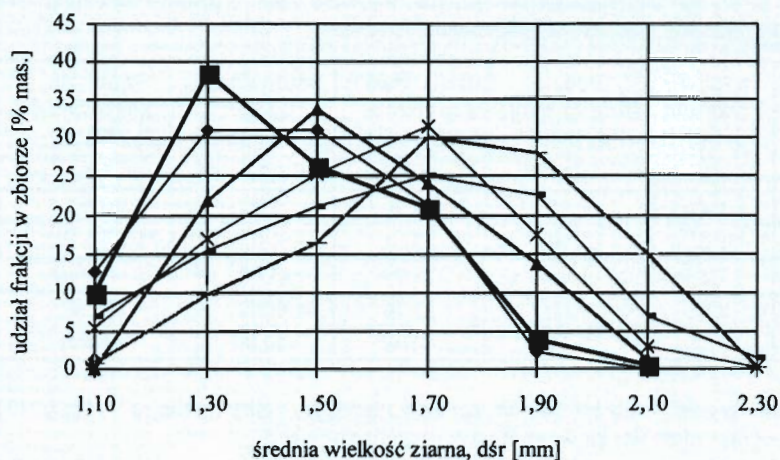
Lp.	wymiar oczka sita [mm]	średnia średnica ziarna d_{sr} [mm]	udział frakcji w zbiorze [% mas.]	pozostałość na sicie R [% mas.]	zdolność kiełkowania ZK [%]
1	1,2	1,10	5,22	5,22	41%
2	1,4	1,30	21,99	27,21	64%
3	1,6	1,50	33,84	61,05	77%
4	1,8	1,70	23,99	85,05	81%
5	2,0	1,90	13,76	98,81	82%
6	2,2	2,10	1,19	100,00	śmiec

Tab. 6. Wyniki kalibracji nasion marchwi Perfekcja – elita (partia nr 114288/2121) oraz wyniki zdolności kiełkowania poszczególnych frakcji

Lp.	wymiar oczka sita [mm]	średnia średnica ziarna d_{sr} [mm]	udział frakcji w zbiorze [% mas.]	pozostałość na sicie R [% mas.]	zdolność kiełkowania ZK [%]
1	1,0	1,00	1,35	1,35	52%
2	1,2	1,10	12,67	14,02	62%
3	1,4	1,30	31,20	45,23	60%
4	1,6	1,50	31,04	76,27	70%
5	1,8	1,70	21,41	97,68	72%
6	2,0	1,90	2,31	99,99	72%
7	2,2	2,10	0,01	100,00	70%

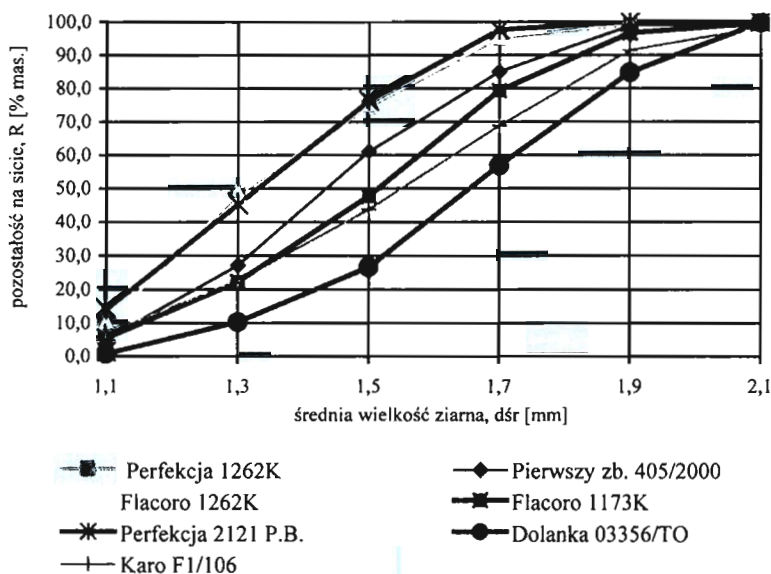
Tab. 7. Wyniki kalibracji nasion marchwi Perfekcja (partia nr 1262K) oraz wyniki zdolności kiełkowania poszczególnych frakcji

Lp.	wymiar oczka sita [mm]	średnia średnica ziarna d_{sr} [mm]	udział frakcji w zbiorze [% mas.]	pozostałość na sicie R [% mas.]	zdolność kiełkowania ZK [%]
1	1,2	1,10	9,89	9,89	72%
2	1,4	1,30	38,25	48,14	85%
3	1,6	1,50	26,25	74,39	85%
4	1,8	1,70	20,69	95,09	79%
5	2,0	1,90	3,94	99,03	85%
6	2,2	2,10	0,48	99,52	83%
7	2,4	2,30	0,48	100,00	88%



- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| ◆ Perfekcja 2121 P.B. | ▲ Pierwszy zb. 405/2000 |
| ■ Flacoro 1262K | * Flacoro 1173K |
| ● Flacoro 1262K | + Dolanka 03356/TO |
| — Karo F1/106 | |

Rys. 2. Wyniki kalibracji badanych odmian marchwi – rozkład gęstościowy



Rys. 3. Wyniki kalibracji marchwi – rozkład sumaryczny

5. Podsumowanie

Wykonano kalibrację kilku partii nasion marchwi uzyskując różne zdolności kiełkowania (dla poszczególnych frakcji nasion) co pozwoliło na:

- wybranie z partii nasion poza wymaganiami normy, frakcję dobrze kiełkującą,
- wybranie z partii nasion bardzo dobrze kiełkujących, frakcję o jakości Ekstra,
- podniesienie jakości – zdolności kiełkowania – oferowanego materiału siewnego,
- wybranie zakresów wielkości sit do kalibracji nasion marchwi od 1,2 do 2,4 mm co 0,2 mm.

6. Wnioski

- Wyniki przedstawione w tabelach wyraźnie wskazują frakcje nasion które nie spełniają wymagań normy.
- Potwierdzono wskazania praktyków że nasiona drobne przeważnie kiełkują słabo.
- Kiełkowanie poszczególnych frakcji nasion marchwi zależy od jakości nasion wyjściowych.
- Nasion grubych jest stosunkowo mało w zbiorze i ich kiełkowanie jest przeważnie lepsze od wartości średniej, chociaż zdarza się i tak, że tylko jedna lub dwie frakcje są zgodne z normą. (tab. 3)
- Opracowany kalibrator powinien znaleźć szerokie zastosowanie w przemyśle nasiennym.
- Poprawa jakości nasion tylko metodą kalibracji, wymaga każdorazowo wykonania próby sitowej w laboratorium dla oceny opłacalności kalibracji.

Literatura:

1. **Domoradzki M., Korpala W., Weiner W.:** Badania kalibracji nasion warzyw. Materiały X Konferencji BEMS Lublin 2002. s. 45.
2. **Domoradzki M., Korpala W., Weiner W.:** Ciągły przesiewacz wibracyjny. Konf. NT. Maszyny dla przetwórstwa płodów rolnych Pleszew 2001 r. Biuletyn Nr 2 (15) s. 43-48.
3. **Grochowicz J.:** Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. W.A.R Lublin 1994.

4. **Hill H. J., Taylor A. G., Min T. G.:** (1989) Amer. Soc. Hort. Sci. **144**(4) s. 661-665.
5. **Pabis S., Pabis J.:** (1984) Technologia suszenia i czyszczenia nasion. PWRiL W-wa.
6. PN-R 65023 Materiał siewny. Nasiona roślin rolnych.
7. **Podlaska J., Atryszak A.:** (1994). Mat. Konf. ART Olsztyn, s. 169-175.
8. **Sokołowska A., Woyke H.:** (1994) Mat. Konf. ART Olsztyn, s. 245-250.
9. **Villeneuve F., Luneau Ch.:** (1992) Ctifl. Carote No 29. ref. 92-534, 92-535, 92-536.
10. **Woyke H., Sokołowska A., Szaflirska A.:** (1990) Biul. Warzyw. XXXV Skierniewice.

TESTING OF CONTINUOUS, VIBRATING SIEVER FOR CALIBRATION OF SEEDS

Abstract: The worked out and made in ATR in Bydgoszcz vibrating, multi-screen calibrator was used to choose the part of the best sprouting seeds. The choice was made by searching the particular fractions of seeds. The tests were made on carrot seeds. Partition was made on screens from 1.2 to 2.4 mm every 0.2 mm.

The calibration makes the price of seeds higher but the operation is profitable and should be used.

Marek Domoradzki, Wojciech Korpal, Wojciech Weiner*

SUSZARKA DO NASION

Streszczenie: Opracowano i wykonano prototyp suszarki okresowej do nasion o odwrotnym przepływie powietrza od góry do dołu. Badania suszenia nasion wykonano w suszarce o objętości $3 \times 150 \text{ dm}^3$. Zmierzono spadki ciśnień na rurociągach i złożu suszonego materiału w suszarce pracującej z jednym wentylatorem. Wyznaczono współczynnik jednostkowego oporu warstwy nasion w funkcji przepływu powietrza. Badane urządzenie jest przeznaczone do suszenia nasion z plantacji hodowlanych i produkcyjnych.

1. Wprowadzenie

Konieczność suszenia nasion występuje już w czasie zbioru na plantacji nasiennej. Często nasiona są zbierane podczas opadów i szybkie ich wysuszenie ratuje zbiór przez powstrzymanie rozwoju chorób grzybowych. W zakładach nasiennej po procesach odkażania w roztworach wodnych prowadzi się suszenie nasion. Podczas suszenia nasion mokrych można wyróżnić dwa etapy suszenia:

- etap I – szybkiego parowania wody, kiedy bez względu na temperaturę powietrza wlotowego, temperatura powietrza wylotowego z suszarki jest niska i stała.
- etap II – w którym przy stałej temperaturze powietrza wlotowego, temperatura powietrza wylotowego powoli rośnie i zbliża się do temperatury powietrza wlotowego.

* Katedra Technologii i Aparatury Przemysłu Chemicznego i Spożywczego, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Akademia Techniczno-Rolnicza, ul. Seminaryjna 3, 85-326 Bydgoszcz

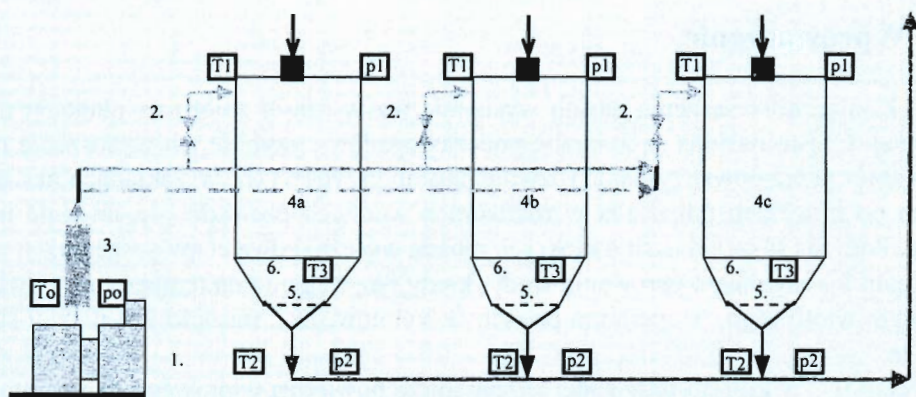
2. Aparatura

Suszarka do nasion mokrych z przepływem ciepłego powietrza składa się z:

- trzech komór suszących wykonanych z formie cylindrów metalowych o średnicy 0,4 m. i wysokości 1,0 m oraz pojemności 150 l z dnem stożkowym i króćcem do opróżniania z ruchomym sitem
- wentylatora pięciostopniowego powietrza o sprężu 1600 mm H₂O i wydajności $Q = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$ z silnikiem trójfazowym o mocy 4,0 kW
- rurociągu powietrza o średnicy z regulowanym podgrzewaczem powietrza,
- rurociągu odprowadzającego powietrze z suszarki do instalacji wentylacyjnej.

Powietrze z pompy 1 kierowane jest przez podgrzewacz elektryczny 3 i przez rurociąg do komór suszących 4. Ogrzane powietrze przepływa przez zawór 2 do komór suszących, ulega nawilżeniu i odprowadzane jest poprzez dno sitowe 5 na zewnątrz suszarki. Zasypywanie suszarki nasionami następuje od góry komory, spust przez otwór wysypowy po odblokowaniu i podniesieniu sita 5.

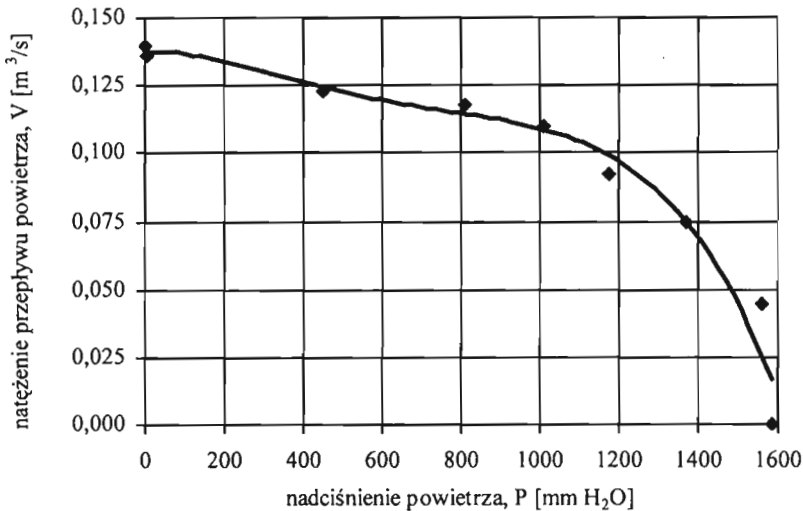
Do regulacji temperatury powietrza, zastosowano autotransformator o mocy ok. 2 000 W.



Rys 1. Schemat suszarki trzykomorowej do nasion: 1 – wentylator, 2 – zawory powietrza, 3 – podgrzewacz elektryczny, 4 – komory suszące, 5 – dna sitowe

2.1. Charakterystyka wentylatora

Na stanowisku badawczym wyznaczono charakterystykę zastosowanego wentylatora typu A3B dławiąc przepływ i mierząc ciśnienie za pompą. Natężenie przepływu w rurociągu mierzono manometrem. Obroty wirnika pompy w trakcie pomiarów wynosiły ok. 6500 obr/min. Wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 1).



Rys 2. Charakterystyka agregatu A3B

Uzyskano równanie:

$$V = 9 \cdot 10^{-14} P^4 + 2 \cdot 10^{-10} P^3 - 10 P^2 + 2 \cdot 10 P + 0,1379 \quad (1)$$

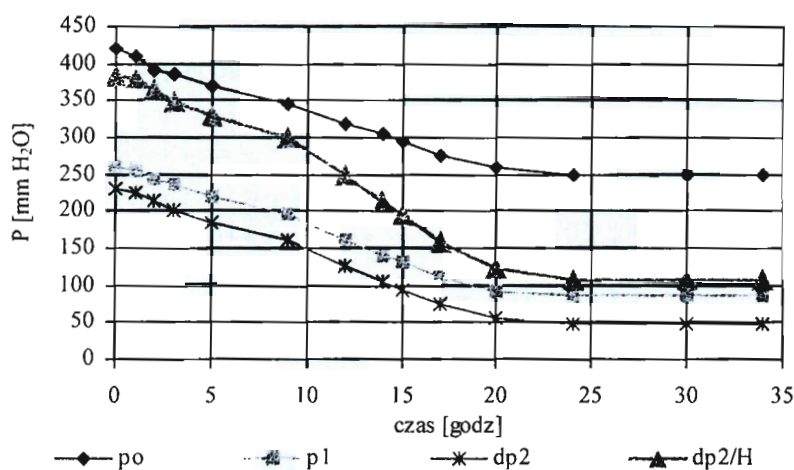
2.2. Suszenie nasion w złożu stacjonarnym

Suszarka pozwala na suszenie nasion bardzo wilgotnych przy dużych prędkościach przepływu powietrza w złożu stacjonarnym.

Po uruchomieniu wentylatora i wyregulowaniu przepływu oraz temperatury powietrza wlotowego na ok. $T_m = 40^\circ\text{C}$, mierzono temperaturę i ciśnienie: na pompie p_0 T_0 , wlocie do suszarki p_1 T_1 i wylocie z suszarki p_2 T_2 . Mierzono również temperaturę na odpływie do rurociągu wylotowego T_2 – I, II, III za każdą z sekcji suszenia. Każdą komorę suszarki napełniono mokrymi nasionami pietruszki Berlińskiej (z mokrego procesu odkażania nasion) w ilości ok. 40,0 kg i wilgotności ok. 50% wag. Mierzono wysokość złoża mokrego i wysokość złoża nasion po wysuszeniu. Obliczano spadki ciśnień: na; rurociągu doprowadzającym ciepłe powietrze dp_1 , na złożu dp_2 i na odpływie do rurociągu dp_3 , różnice temperatur na złożu nasion $T_1 - T_2$ i jednostkowy spadek ciśnienia na złożu. dp_2/H . Dane pomiarowe suszenia mokrych nasion zebrano w tabelach i na wykresach (tab. 1, 2 i 3 oraz rys. 3, 4 i 5).

Tab. 1. Wyniki zmian ciśnienia w suszarce trzykomorowej

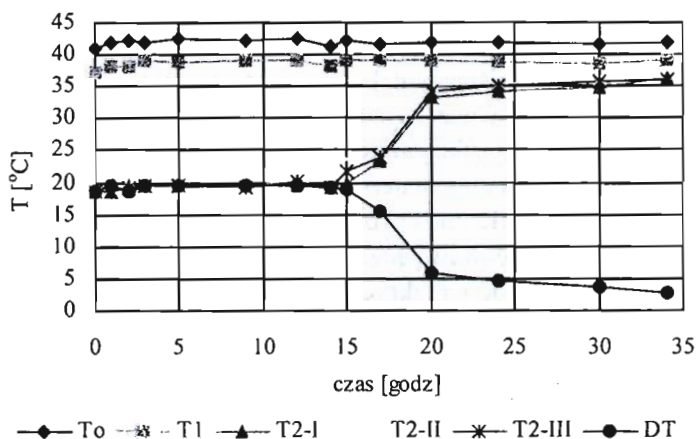
wiel- kość	czas [godz.]													
	0	1	2	3	5	9	12	14	15	17	20	24	30	34
po	420,0	410,0	390,0	385,0	370,0	345,0	320,0	305,0	295,0	275,0	260,0	250,0	250,0	250,0
p ₁	260,0	255,0	245,0	235,0	220,0	195,0	162,0	140,0	130,0	110,0	90,0	85,0	85,0	85,0
p ₂	30,0	30,0	32,0	34,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	37,0	37,0	37,0
dp ₁	160,0	155,0	145,0	150,0	150,0	150,0	158,0	165,0	165,0	165,0	170,0	165,0	165,0	165,0
dp ₂	230,0	225,0	213,0	201,0	185,0	160,0	127,0	105,0	95,0	75,0	55,0	48,0	48,0	48,0
dp ₃	30,0	30,0	32,0	34,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	37,0	37,0	37,0
H	0,60	0,59	0,59	0,58	0,56	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,45	0,45	0,45	0,45
dp ₂ /H	383,0	380,0	364,0	348,0	329,0	300,0	249,0	212,0	195,0	159,0	122,0	107,0	107,0	107,0



Rys. 3. Zmiana ciśnienia w czasie suszenia nasion mokrych

Tab. 2. Wyniki zmian temperatury w suszarce trzykomorowej

wielkość	czas [godz.]													
	0	1	2	3	5	9	12	14	15	17	20	24	30	34
T ₀	41,0	42,0	42,2	42,0	42,4	42,2	42,6	41,2	42,1	41,7	41,8	41,8	41,5	41,8
T ₁	37,3	38,2	38,1	39,0	38,9	39,0	39,0	38,3	39,0	39,0	39,1	38,7	38,5	39,0
T _{2-I}	18,7	18,7	19,5	19,5	19,5	19,4	19,6	19,1	20,0	23,4	33,3	34,0	34,9	36,2
T _{2-II}	18,6	18,7	19,2	19,7	19,6	19,5	20,1	21,0	23,6	25,2	35,0	35,4	35,9	36,0
T _{2-III}	18,6	18,6	19,1	19,7	19,6	19,3	20,1	19,1	21,8	24,0	34,2	35,1	35,6	36,0
T _{1-T₂}	18,6	19,5	18,6	19,5	19,4	19,6	19,4	19,2	19,0	15,6	5,8	4,7	3,6	2,8

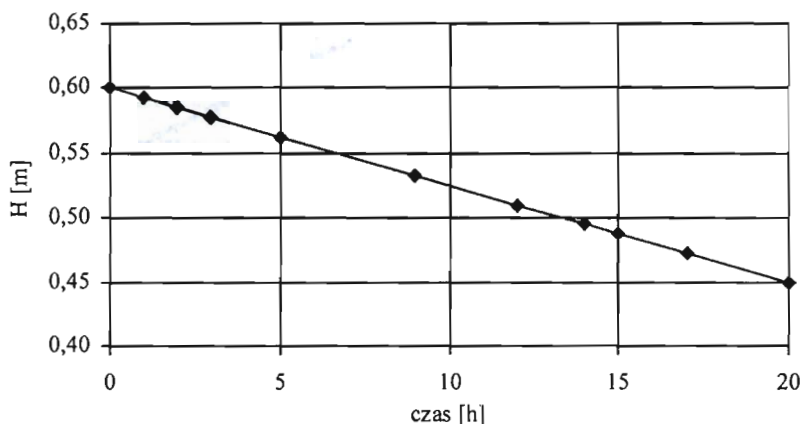


Rys. 4. Zmiana temperatury powietrza w czasie suszenia nasion mokrych

W obliczeniach jednostkowego spadku ciśnienia w złożu suszonych nasion, przyjęto liniową zależność wysokości złoża od czasu I etapu suszenia.

Tab. 3. Wyniki zmian wysokości złoża w trzykomorowej suszarce z 1 wentylatorem

wiel- kość	czas [godz.]													
	0	1	2	3	5	9	12	14	15	17	20	24	30	34
H [m]	0,60	0,59	0,59	0,58	0,56	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,45	0,45	0,45	0,45



Rys. 5. Zmiana wysokości złoża materiału mokrego w trakcie suszenia

3. Wyniki

Parametrem dobrze opisującym koniec I etapu suszenia jest brak dalszego spadku ciśnienia powietrza w warstwie materiału suszonego (rys 3).

Drugim parametrem opisującym koniec I i II etapu suszenia jest różnica temperatur T_1-T_2 , nad i pod warstwą materiału suszonego. Dla nasion pietruszki różnica T_1-T_2 równa 3°C . daje wilgotność końcową ok. 4% wag., dla różnicy temperatur równej 4°C wilgotność końcowa wynosi ok. 6% wag.

Okres suszenia 120 kg nasion mokrych przy wydajności 60 kg nasion suchych wynosi:

I etap 0-20 godz

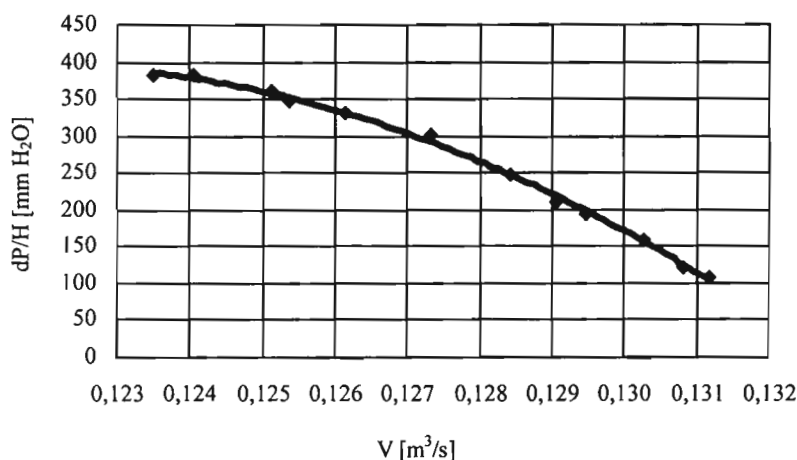
II etap 20-30 godz

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono zależność jednostkowego oporu warstwy nasion od przepływu powietrza przez suszarkę obliczonego z charakterystyki wentylatora.

Uzyskano równanie słuszne dla przepływu powietrza w zakresie:

$<0,124-0,131> \text{ m}^3/\text{s}$:

$$\frac{dP}{H} = 2,0 \cdot 10^6 V^2 + 4,9 \cdot 10^5 V - 2,8 \cdot 10^4 \quad (2)$$



Rys. 6. Zależność jednostkowego spadku ciśnienia dP/H w funkcji objętościowego przepływu powietrza

4. Podsumowanie i wnioski

- Przedstawiona suszarka do nasion bardzo mokrych charakteryzuje się prostotą wykonania i niezawodną pracą.
- Suszarka pozwala na wykonanie operacji w jednym hermetycznym urządzeniu, co ma duże znaczenie przy suszeniu nasion zaprawianych.
- Wysokość złoża podczas suszenia nasion mokrych jest zmienna (zmniejsza się) i wynika z różnicy gęstości usypowej nasion mokrych i wysuszonych.
- Wyznaczono spadki ciśnienia i temperatury na poszczególnych elementach suszarki:
 - Spadek ciśnienia na rurociągach doprowadzających jest tego samego rzędu co na złożu,
 - Spadek ciśnienia na złożu nasion jest zmienny w czasie suszenia (zmniejsza się) i zależy od wilgotności nasion,
 - Materiał wysuszony nie wykazuje dalszego spadku ciśnienia na warstwie nasion
 - Spadek temperatury powietrza w złożu określa wilgotność końcową i koniec suszenia.
- Spadek jednostkowy ciśnienia w złożu dp/H jest kwadratową funkcją przepływu powietrza (równanie 2)

Literatura

1. **Grochowicz J.:** Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. W.A.R Lublin 1994.
2. **Pabis S., Pabis J.:** Technologia suszenia i czyszczenia nasion. PWRiL Warszawa. 1984.
3. **Serwiński M.:** Zasady Inżynierii Chemicznej W.N.T. Warszawa 1971.
4. **Strumiłło C.:** Podstawy teorii i techniki suszenia W.N.T. Warszawa 1983.

THE DRYER FOR SEEDS

Abstract: There is the method and the machine for drying seeds after wet operations (washing, disinfection) and after the crop in moist condition proposed. Tests and searches of the dryer were made. The change of unitary factor of resistance of seeds layer during drying was marked and described. The produced dryer is economical and simply to construct and use. It allows to make the whole drying operation in one hermetic machine which is extremely important in treatment of seeds with toxic substances.

Kazimierz Drozd, Andrzej Weroński*

PROBLEMATYKA TRWAŁOŚCI STALI RESOROWEJ W RÓŻNYCH WARUNKACH EKSPLOATACYJNYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badania udarnośći próbek ze stali 50HS ulepszanych cieplnie oraz poddawanych oddziaływaniu obojętnej mgły w komorze solnej. Przelomy wykonywano przy regulowanych temperaturach odpowiadających temperaturom eksploatacji pojazdów samochodowych w Polsce. Można stwierdzić, że wartości udarnośći zmniejszały się w miarę obniżania temperatur badania. W zakresie temperatur 237÷313 K nie stwierdzono nagłego obniżenia wartości udarnośći, które mogłoby świadczyć o przechodzeniu materiału w stan kruchy.

1. Wprowadzenie

Szacuje się, że trwałość resorów jest niższa niż trwałość silników pojazdów samochodowych. Mimo, iż ciągle prowadzone są badania nad doskonaleniem technologii wytwarzania w wielu ośrodkach zagranicznych to można stwierdzić, że nie są znane aktualne dogłębne opracowania tej problematyki [4-6, 8].

Aktualnie na pióra resorowe najczęściej stosuje się stale stopowe sprężynowe (np. 60S2A, 50HS, 60SGH,) inaczej zwane resorowymi o zawartości węgla w zakresie 0,4÷0,65%, do 0,4% Ni, zanieczyszczeń siarką i fosforem do 0,05%. Stale te po ulepszeniu cieplnym charakteryzują się dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi: $R_e \leq 1300$ MPa, $R_m \leq 1500$ MPa, wydłużeniem względnym na poziomie $A_5 \leq 8\%$ i przewężeniem Z nie przekraczającym 30% [1].

Elementy sprężyste zawieszzeń są jednymi z najbardziej obciążonych mechanicznie elementów w pojazdach [9]. Wydaje się, że w ich przypadku największy wpływ na ewentualną kruchość będą miały czynniki eksploatacyjne. Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na kruchość stali są [2, 7, 10]:

* Katedra Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

- rodzaj i jakość materiału (skład chemiczny, przebieg procesu metalurgicznego, wielkość i rozkład zanieczyszczeń i dodatków szkodliwych takich jak fosfor i siarka),
- proces technologiczny wytwarzania elementów ze stali (rodzaj obróbki cieplnej, temperatura, atmosfera pieca, stopień zabezpieczenia warstw wierzchnich),
- warunki eksploatacji (rodzaj obciążenia, prędkość odkształceń, temperatura pracy, działanie chlorków).

2. Metodyka i wyniki badań udarności stali 50HS

Resory samochodowe pękają nie ujawniając plastycznych odkształceń materiału (rys. 1). Zaobserwowano, że w okresie zimowym i wczesnej wiosny występuje zwiększona liczba przypadków uszkodzeń elementów sprężystych zawieszonych [3]. W związku z tym postawiono tezę, że zakres temperatur eksploatacji obejmuje obszar przechodzenia materiału w stan kruchy.



Rys. 1. Widok przełomu pióra resorowego

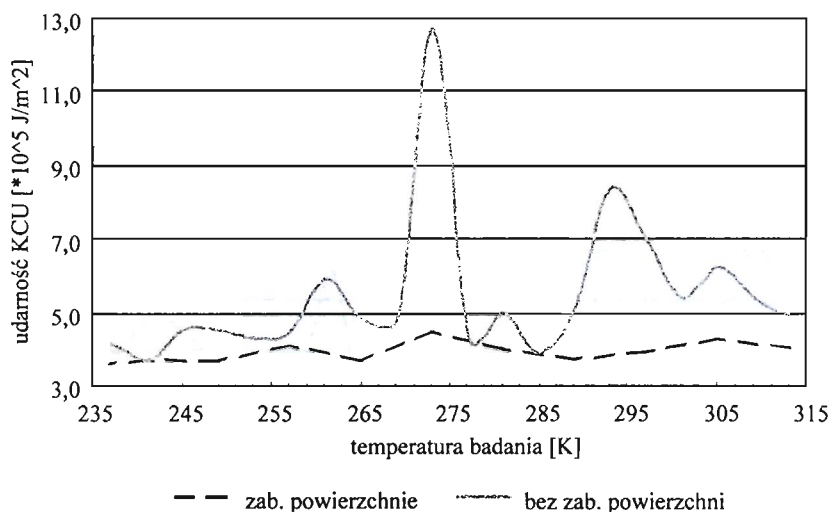
Zaprogramowano badania mające na celu określenie zależności pomiędzy udarnością a temperaturą badania i czasem oddziaływania agresywnego środowiska na warstwę wierzchnią. Celem tych badań była weryfikacja tezy o występowaniu istotnych zmian kruchości materiału w badanych warunkach, które będą odpowiednie do warunków eksploatacji pojazdów w kraju.

Do badań przygotowano 6 grup po 20 sztuk próbek, z karbem typu U o głębokości 0,002 m, wykonanych ze stali 50HS zgodnie z normą [PN-EN-10045-1] (przekrój materiału w miejscu wykonania karbu 0,008 x 0,010 m). Hartowanie prowadzono po wygrzewaniu przy temperaturze 1123K z chłodzeniem w oleju. Materiał odpuszczano przez 3600 s przy temperaturze 793K (zalecana temperatura odpuszczania piór resorowych ze stali 50HS) oraz 1 grupę próbek przy temperaturze 823K. Cztery grupy próbek poddano przez różny czas (48*3600 s i 96*3600 s) działaniu obojętnej mgły w komorze solnej.

Badania udarności prowadzono z użyciem wahadła o energii 147 J. Temperaturę próbek podczas wykonywania przełomów regulowano co około 4K w zakresie od 237 ±313K.

2.1. Zabezpieczenie powierzchni materiału podczas hartowania

Porównanie udarności w zależności od temperatury badania próbek hartowanych w piecu bez atmosfery ochronnej z zabezpieczeniem i bez zabezpieczenia powierzchni materiału przed odwęgleniem przedstawiono na rys. 2. Te grupy próbek odpuszczano przy temperaturze 793K, po czym były narażone na oddziaływanie środowiska korozyjnego przez $96 \cdot 3600$ s.



Rys. 2. Porównanie udarności stali 50HS w zależności od temperatury badania próbek hartowanych w piecu bez atmosfery ochronnej z zabezpieczeniem i bez zabezpieczenia powierzchni materiału przed odwęgleniem

Analiza zależności udarności od temperatury wykonywania przełomów dla materiału bez zabezpieczenia powierzchni przed odwęgleniem pozwala stwierdzić, że w badanym zakresie temperatur występują wahania wartości udarności z wyraźnymi lokalnymi maksimami (pikami).

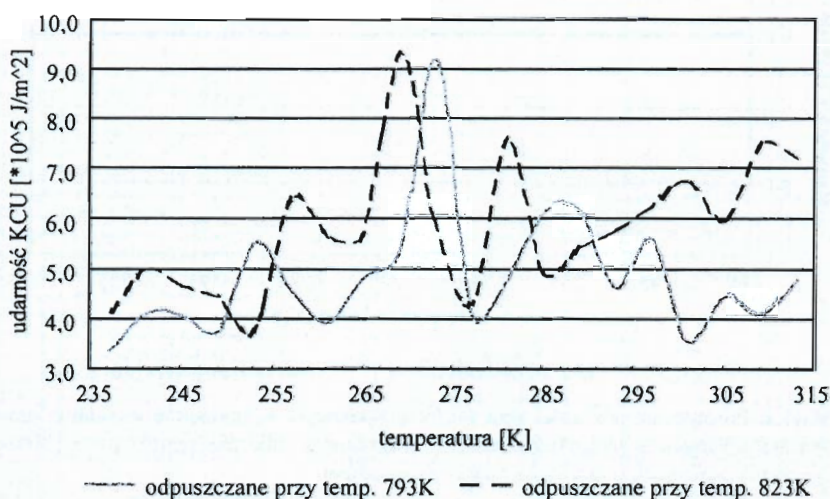
Szczególnie dużą wartość udarności ($12,7 \cdot 10^5$ J/m², ponad dwukrotnie większą od średniej) wyznaczono dla próbek badanych przy temperaturze ok. 270K. Przy temperaturze próbek ok. 295K również zaobserwowano zwiększenie udarności. Wbrew oczekiwaniom nie wystąpiło obniżenie wartości udarności świadczące o przechodzeniu materiału w stan kruchy w badanym zakresie temperatur.

Można stwierdzić, że wartość udarności, dla próbek z powierzchniami zabezpieczonymi przed odwęgleniem podczas hartowania (linia przerywana na rys. 2)

zwiększała się o $5,3 \cdot 10^2 \text{ J/m}^2$ na każdy 1K wzrostu temperatury badania. W całym zakresie temperatur badania wartości udarności zawierały się w granicach $3,62 \div 4,47 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$. Statystycznie rzecz ujmując zaobserwowano wyraźną korelację między tymi cechami (empiryczny współczynnik korelacji o wartości 0,5).

2.2. Regulacja temperatury odpuszczania

Na rys. 3 przedstawiono porównanie przebiegów udarności w zależności od temperatury badania próbek ze stali 50HS odpuszczanych przez 3600 s przy różnych temperaturach. Materiał przetrzymywano w komorze solnej przez $48 \cdot 3600 \text{ s}$.

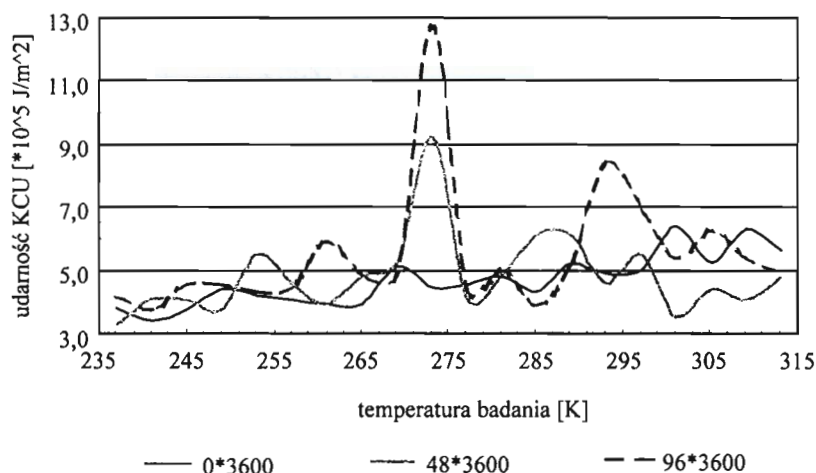


Rys. 3. Porównanie przebiegów udarności w zależności od temperatury badania próbek odpuszczanych przy różnych temperaturach

Badania próbek odpuszczanych przy temperaturze 793K (zalecanej dla stali 50HS) wykazały brak wyraźnej korelacji pomiędzy udarnością a temperaturą. Podobnie jak udarność próbek hartowanych bez zabezpieczenia powierzchni przedstawiona na rys. 2 zależność z rys. 3 (linia ciągła) obrazuje wahania wartości udarności zależnie od temperatury wykonywania przełomów. Tutaj również wystąpił pik ($9,19 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$) przy temperaturze około 270K. Z powodu występowania większych wahań wartości udarności w prawej części rys. 3 obserwuje się tendencję podwyższania udarności przy wzroście temperatury.

Łatwo zauważyć, że podwyższenie temperatury odpuszczania o 30K, przy niezmienionych innych parametrach badania, spowodowało podwyższenie wartości udarności, zwłaszcza przy wyższych temperaturach badanego zakresu. Wyniki te są zgodne z teorią obróbki cieplnej stali. Średnia wartość udarności zwiększyła się o 10^5 J/m^2 , a największe piki przesunęły się w kierunku niższych temperatur badania.

Analizując wyniki badania próbek odpuszczanych przy podwyższonej temperaturze zaobserwowano również zwiększenie do 0,52 wartości korelacji pomiędzy udarnością a temperaturą. Podwyższenie temperatury odpuszczania spowodowało zaistnienie silnej dodatniej korelacji między badanymi cechami, co świadczy o występowaniu znaczącego wpływu temperatury na udarność.



Rys. 4. Porównanie przebiegów udarności w zależności od temperatury badania dla różnych czasów oddziaływania środowiska korozyjnego na próbki ze stali 50HS

Wartości udarności próbek w badanym zakresie temperatur były, w każdym przypadku, większe od $3,3 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$ i nie można wskazać miejsca na rys. 3, które mogłoby świadczyć o przechodzeniu materiału w stan kruchy.

2.3. Wpływ czasu oddziaływania środowiska komory solnej

Interesujące przebiegi udarności zaobserwowano dla różnych czasów oddziaływania symulowanego środowiska korozyjnego w komorze solnej przedstawione na rys. 4. Próbkę hartowano w oleju po wygrzewaniu przy temperaturze 1123K i odpuszczano przez 3600 s w piecu o temperaturze 793K.

Zależność udarności od temperatury badania próbek nie poddawanych oddziaływaniu środowiska komory solnej (linia ciągła cienka) wykazuje stałą tendencję wzrostową z niewielkimi lokalnymi wahaniami. Udarność tych próbek zawierała się w granicach $3,43 \div 6,47 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$ (średnio $4,68 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$), czyli w badanym zakresie temperatur zwiększyła się niemal dwukrotnie.

Współczynnik korelacji o wartości 0,86 wskazuje na silną dodatnią korelację pomiędzy udarnością a temperaturą tj. znaczący wpływ temperatury badania na wartość udarności. Można stwierdzić, że wartość udarności próbek nie poddawanych działaniu środowiska komory solnej wzrastała o $3 \cdot 10^3 \text{ J/m}^2$ na każdy 1K zwiększania temperatury badania. Szybkość tego wzrostu odniesiona do 1K była ponad 5,5 razy większa niż w przypadku próbek hartowanych z zabezpieczeniem powierzchni przed odwęgleniem (linia przerywana na rys. 2).

Zależność udarności od temperatury badania próbek poddawanych oddziaływaniu środowiska komory solnej przez czas $48 \cdot 3600 \text{ s}$ (linia ciągła gruba na rys. 4) okazała się symetryczna względem średnich temperatur badania z dużymi lokalnymi wahaniami. Średnia udarność tych próbek wyniosła $4,82 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$, czyli była o $1,4 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ wyższa niż średnia udarność próbek nie poddawanych badaniom korozyjnym. Przy temperaturze około 270K wystąpiło zwiększenie udarności do wartości niemal dwukrotnie wyższej od średniej, poza tym do temperatury 300K wartości udarności pokrywały się z przebiegiem omówionym w poprzednim akapicie. Przy wyższych temperaturach przebieg funkcji miał tendencję malejącą tak bardzo, że od 300 K występował poniżej krzywej odpowiadającej próbkom bez oddziaływania korozyjnego.

Dwukrotne zwiększenie czasu (do $96 \cdot 3600 \text{ s}$) oddziaływania środowiska komory solnej spowodowało zwiększenie wahań wartości udarności zwłaszcza przy temperaturach badania wyższych od 260K (linia przerywana na rys. 4). W związku z tym średnia wartość udarności osiągnęła $5,5 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$. Była to wartość o 14% większa od średniej udarności próbek z $48 \cdot 3600$ sekundowym oddziaływaniem środowiska korozyjnego. Przy temperaturze ok. 270K wystąpił pik o maksymalnej wartości 2,3 razy przewyższający wartość średnią. Dla próbek poddawanych badaniu udarności przy temperaturze ok. 295K wystąpił kolejny pik o wartości maksymalnej przekraczającej o połowę wartość średnią. Poza tymi temperaturami badania przebieg udarności był zbliżony do przebiegu dla próbek bez oddziaływania korozyjnego.

Niezależnie od czasu oddziaływania symulowanego środowiska korozyjnego komory solnej nie zaobserwowano istotnego obniżenia wartości udarności mogącego wskazywać na przechodzenie materiału w stan kruchy.

3. Podsumowanie i wnioski

Z otrzymanych wyników badań udarności można stwierdzić, że współczynnik korelacji pomiędzy temperaturą a wartością udarności nie jest najlepszym kryterium oceny zależności pomiędzy tymi cechami dla wszystkich warunków badania próbek. Dotyczy to szczególnie próbek z odwęgleniem występującym po ulepszeniu cieplnym oraz próbek poddawanych długotrwałemu oddziaływaniu korozji, a zwłaszcza wyższych temperatur badania. Spowodowane jest to występowaniem lokalnych ekstremów funkcji udarności od temperatury.

Statystycznie rzecz ujmując można powiedzieć, że wartość udarności obniżała się w miarę obniżania temperatur badania. Skala tego zjawiska była różna. Najwyraźniej występowało ono dla próbek hartowanych z zabezpieczeniem ich powierzchni przed odwęgleniem oraz dla próbek, które nie były poddawane działaniu środowiska komory solnej. Dla tych próbek można mówić o istotnym wpływie temperatury na wartość udarności. W badanym zakresie temperatur nie wykazano nagłego obniżenia wartości udarności, które mogłoby świadczyć o przechodzeniu materiału w stan kruchy. Nasuwa się przypuszczenie, że dla tej stali temperatura, w której granica plastyczności osiąga wartość granicy wytrzymałości na rozciąganie (temperatura kruchości) ma wartość znacznie niższą od temperatur, w których w naszym kraju eksploatowane są pojazdy.

Największy wpływ na wartości udarności w dużym zakresie temperatur badania miało zabezpieczenie powierzchni materiału przed odwęgleniem podczas hartowania oraz czas (brak) oddziaływania środowiska komory solnej. Procesy destrukcji warstw wierzchnich podczas obróbki cieplnej oraz w wyniku oddziaływania korozji obniżały właściwości wytrzymałościowe stali 50HS, przez co powiększała się strefa przełomu z trwałym odkształceniem materiału. Wydaje się, że w przypadku piór resorowych występuje zjawisko przeciwne, tj. zwiększa się kruchość warstw wierzchnich i wtedy dochodzi do inicjacji pęknięcia.

Występowanie wyraźnych pików przy temperaturach podczas badania o wartości około 270K świadczy o dużej powtarzalności badań i osobliwym wpływie niektórych czynników eksploatacyjnych na przebiegi udarności. Przeprowadzenie badań metalograficznych powinno pozwolić określić stan warstw wierzchnich badanych próbek oraz ewentualną przyczynę (leżącą w materiale) wahań wartości udarności i występowania pików. Celowym jest przeprowadzenie dalszych badań przy temperaturach niższych od 237K.

Literatura

1. **Branowski B.:** Śprężyny metalowe, Wyd. PWN, Warszawa 1997.
2. **Butnicki S.:** Spawalność i kruchość stali, Wyd. WNT, Warszawa 1991.
3. **Drozd K., Weroński A.:** Problematyka kształtowania struktury i właściwości materiałów przeznaczonych na resory. Konferencja "Problemy metaloznawstwa w technice XXI wieku" Cedzyna k/Kielc 26-28 czerwca 2000 r., Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2000, s. 315-324.
4. **Heinz H.:** Vehicle and Engine Technology, Wyd. Arnold, London 1999.
5. **Lee C. S., Lee K. A., Li D. M., Yoo S. J., Nam W. J.:** Microstructural influence on fatigue properties of a high-strength spring steel. *Materials Science & Engineering A*, vol. A241 n. 1-2/1998, s. 30-37.
6. **Li J. B., Liu F. Z., Ji V.:** Influence of shot peening on superficial yield strength of spring steel in hard state. *Surface Engineering*, vol. 14, n. 6/1998, s. 469-472
7. **Maciejny A.:** Kruchość metali, Wyd. Śląsk, Katowice 1973.
8. **Mukhopadhyay N. K., Das S. K., Ravikumar B., Ranganath V. R., Chowdhury S. G.:** Premature Failure of a Leaf Spring due to Improper Materials Processing. *Engineering Failure Analysis*, vol. 4 issue 3/1997, s. 161-170.
9. **Reimpell J.:** Fahrwerktechnik: Federung Fahrwerkmechanik. 2 Auflage, Vogel-Buchverlag, Würzburg 1983.
10. **Weroński A., Hejwowski T.:** Thermal Fatigue of Metals, Wyd. Marcel Dekker Inc., New York 1992.

THE USEFUL LIFE PROBLEMS OF SPRING STEEL AT DIFFERENCE SERVICE CONDITIONS

Abstract: The researches of spring steel (an example made of 50HS) on impact strength are shown in this paper. It was made to verify the influence of corrosion atmosphere on impact resistance at different temperatures. There was selected the temperature range such that temperatures of car operation at our country. Samples preparing procedure and some detail about the test and statistical interference are also included. Example results of impact strength are also discussed. It was observed that when research temperature of samples fall, impact strength was decreased. There was not observed the notch brittleness at temperature range of 237÷313K.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego nr 1022/T07C/2001/21 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2001+2002.

Józef Flizikowski, Adam Mroziński, Zbigniew Kikiewicz*

DOBÓR PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH MŁYNA TARCZOWEGO A JAKOŚĆ OTRZYMYWANEGO PAPIERU

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w skali przemysłowej w Bydgoskich Zakładach Papierniczych. Opisano w nim zmiany właściwości wytrzymałościowych papieru w zależności od wybranych parametrów eksploatacyjnych pracy młyna tarczowego.

1. Wprowadzenie

Proces mielenia w cyklu przygotowania masy makulaturowej i wytwarzania z niej papieru należy do bardzo ważnych. Realizuje się go najczęściej w młynach tarczowych lub stożkowych. Mielenie wpływa na niemal wszystkie parametry gotowego papieru. W dużym stopniu zależy od niego jakość powierzchni papieru, gęstość, przezroczystość oraz własności wytrzymałościowe, takie jak samozerwalność, przedarcie i przepuklenie [1, 3, 5, 8]. Podczas mielenia masy następuje ostateczne rozdzielenie włókien oraz ich pęcznienie. Podnosi ono także plastyczność oraz powoduje skracanie i ujednoladnianie włókien. Odpowiednio prowadzony proces mielenia eksponuje pożądane efekty lub osłabia dla danego typu papieru. W wyniku czego można otrzymać z tego samego surowca papier o różnych właściwościach.

Należy jednak także stwierdzić, że proces ten jest bardzo energochłonny. Pobór energii może niekiedy osiągnąć 25-70% ogółu energii elektrycznej potrzebnej do wytworzenia papieru w papierni [5, 6, 8]. Możliwość zmniejszenia zużycia energii przez odpowiednie użytkowanie młyna ma niebagatelny wpływ na obniżenie całkowitych kosztów jego eksploatacji.

* Katedra Maszyn Spożywczych i Ochrony Środowiska, Wydział Mechaniczny, ATR Bydgoszcz, 85-763 Bydgoszcz, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, adammmroz@mail.atr.bydgoszcz.pl

Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań w Katedrze Maszyn Spożywczych i Ochrony Środowiska (ATR Bydgoszcz) [2, 3, 4] można stwierdzić, że do podstawowych parametrów eksploatacyjnych młyna tarczowego można zaliczyć:

- a) stężenie mielonej masy,
- b) natężenie przepływu masy,
- c) szczelinę między powierzchniami mielącymi.

Parametry te przede wszystkim mają istotny wpływ na pobór energii przez młyn [3, 7]. W sposób decydujący wpływają one także na jakość wytwarzanego papieru – świadczą o tym badania własne oraz przeprowadzona ocena literatury [5, 9].

2. Metodyka

Schemat układu, w którym przeprowadzano proces technologiczny obróbki masy papierniczo-makulaturowej z umiejscowieniem badanego młyna przedstawiono na rys. 2. Przedstawiona instalacja umożliwiała mielenie masy papierniczo-makulaturowej przy założonych stałych parametrach:

- a) Obrabiana makulatura:
 - 60÷65 % makulatura odmiany 40 (karton, tektura falista),
 - 35÷40 % makulatura odmiany 30 (worki celulozowe).
- b) Uproszczony garnitur tarcz mielących – proste rowki przeciwbieżne na tarczach i wirniku (rys. 2).
- c) Stosowany typ młyna: młyn tarczowy typu ST300S.
- d) Prędkość obrotowa wirnika - 1485 obr/min.

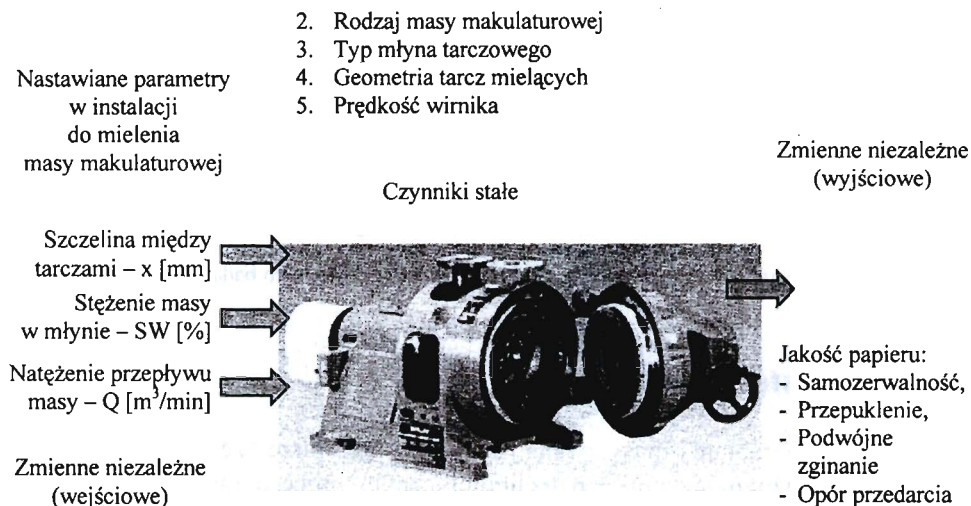
W czasie trwania badań za zmienne eksploatacyjne pracy młyna przyjęto następujące parametry (schemat programu badań – rys. 1):

- a) Szczelina międzynożowa – x w zakresie 0.04÷0.25 mm,
- b) Stężenie masy – SW [%]: zmieniane przez dolewanie wody do kadzi magazynowej – otrzymywano przez to stężenie: 1.48, 1.65, 2.32, 2.8 %,
- c) Natężenie przepływu masy – Q m³/min: zmieniane za pomocą wyskalowanego zaworu: 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0 m³/min.

Określano następujące wybrane parametry wytrzymałościowe papieru:

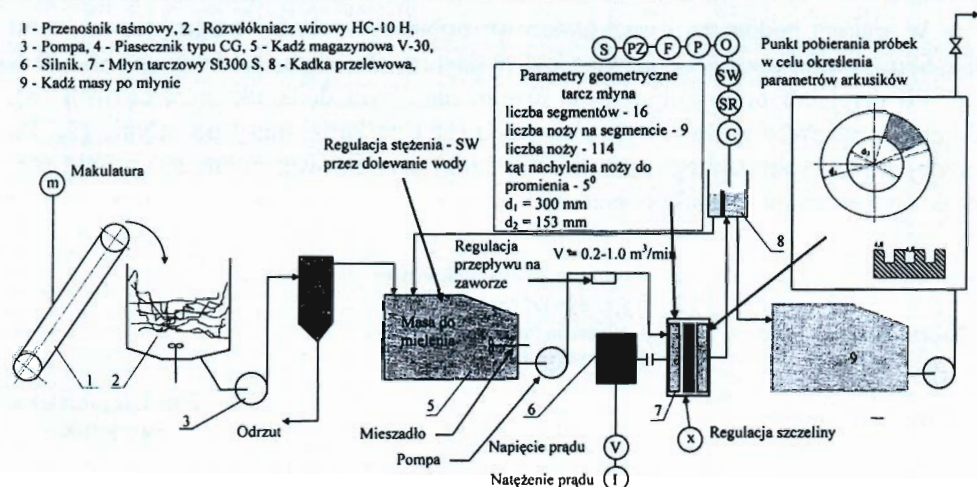
- Samozerwalność S (km),
- Przepuklenie P (kPa),
- Opór przedarcia O (kPa),
- Podwójne zginanie PZ.

W trakcie badań masę makulaturową pobierano z kadzi magazynowej V-30 (5). Stąd pompą masową surowiec był podawany do młyna tarczowego St 300 S (6). Po przejściu przez młyn masa dostarczana była do kadki przelewowej (8). Z kadki przelewowej masa była transportowana do kadzi masy po młynie (9). Po każdej zmianie określonego parametru z kadki przelewowej pobierano próbki masy do sporządzania arkusików papieru.



Rys. 1. Uproszczony schemat programu badań

W celu zbadania własności wytrzymałościowych masy papierniczo-makulaturowej uzyskanej po mieleniu sporządzano z niej, w sposób znormalizowany [6, 10], arkusiki papieru. Czynności przygotowawcze obejmowały: rozcieńczanie i rozdzielanie, formowanie, suszenie, wycinanie arkusików i klimatyzowanie. Arkusiki formowano na aparacie Rapid-Kothen. Określone parametry otrzymanych arkusików wyznaczano zgodnie z polskimi normami [10]. Gramatura arkusików papieru mieściła się w zakresie 70 – 72 g/m²



Rys. 2. Schemat instalacji wykorzystywanej do badań z umiejscowieniem badanego młyna

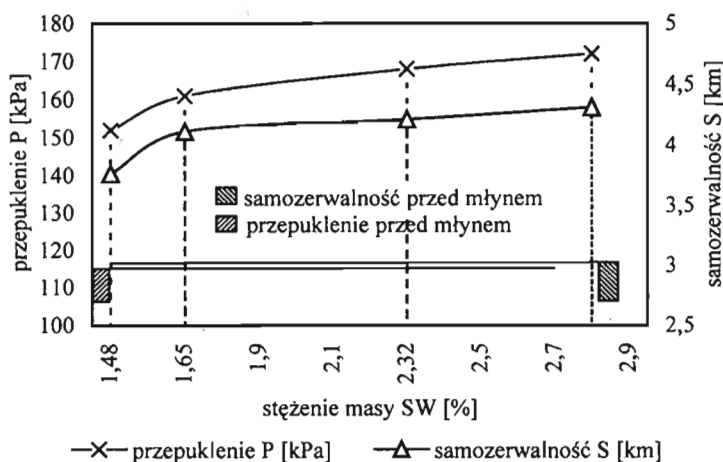
3. Zmiana stężenia masy

Stężenie obrabianej masy zwana również w literaturze często suchością masy jest bardzo ważnym czynnikiem technologicznym procesu mielenia w młynach tarczowych i innych urządzeniach mielących [9]. Stężenie masy ma wpływ na szybkość zmian zachodzących w mielonej masie oraz na jednostkowe zużycie energii na mielenie. Mielenie w młynach tarczowych realizuje się zwykle w stężeniach 1.5-4%. Dla młyna tarczowego przy ustalonej szerokości międzynożowej, zmiana stężenia masy powoduje zmianę poboru mocy przez to urządzenie. Wzrost stężenia masy powoduje wzrost poboru mocy, zmniejszenie zaś stężenia, spadek obciążenia młyna.

Bardzo niska suchość masy sprawia, że masa przepływa zbyt łatwo między nożami wirnika i statora, zmniejszając w ten sposób intensywność fibrylacji wewnętrznej oraz dodatkowo powodując zwiększenie intensywności procesu cięcia. Zbyt wysokie stężenie zwiększa nadmiernie opory tarcia o wirujące noże, a tym samym powoduje wzrost poboru mocy. Z drugiej strony, przy wysokim stężeniu, w danej jednostce objętości znajduje się większa ilość masy suchej niż przy niskim stężeniu. To z kolei powoduje intensywniejszą obróbkę obrabianej masy. Można powiedzieć, że przy wysokim stężeniu mniejsza ilość energii jest zużywana na mieszanie wody zawartej w danej jednostce objętości masy. Z powyższego wyni-

ka, że suchość masy może mieć wpływ zarówno na pobór mocy jak również na wartości parametrów papierotwórczych badanych arkusików papieru.

Na rys. 3 przedstawiono zmianę samozerwalności i przepuklenia w funkcji stężenia masy.



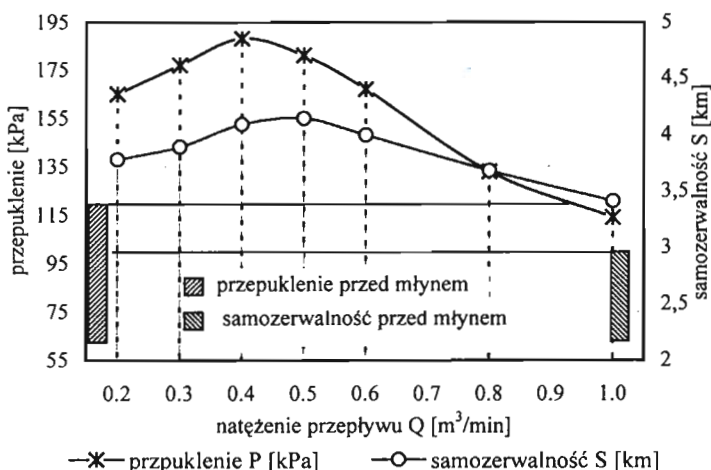
Rys. 3. Zmiany samozerwalności i przepuklenia w funkcji stężenia masy

W zakresie małych stężeń w szczelinie międzynożowej urządzenia mielącego tworzy się bardzo cienka warstwa włókien, z których znaczna część styka się z elementami mielącymi. W tych warunkach włókna osadzone na krawędziach elementów ulegają skracaniu, natomiast pozostałe włókna są miażdżone. Małe stężenia masy sprzyjają zatem intensywnej obróbce masy z przewagą skracania włókien. Stąd dla mniejszych stężeń uzyskano małe wartości parametrów wytrzymałościowych. W miarę zwiększania się stężenia obróbka staje się łagodniejsza. Dominuje fibrylacja włókien przy coraz bardziej ograniczonym ich skracaniu. Tym należy tłumaczyć powolny wzrost obu parametrów.

Podobną tendencję zmian zaobserwowano dla pozostałych dwóch analizowanych parametrów tzn. ilości podwójnych zgięć badanych próbek papieru oraz ich oporu przedarcia.

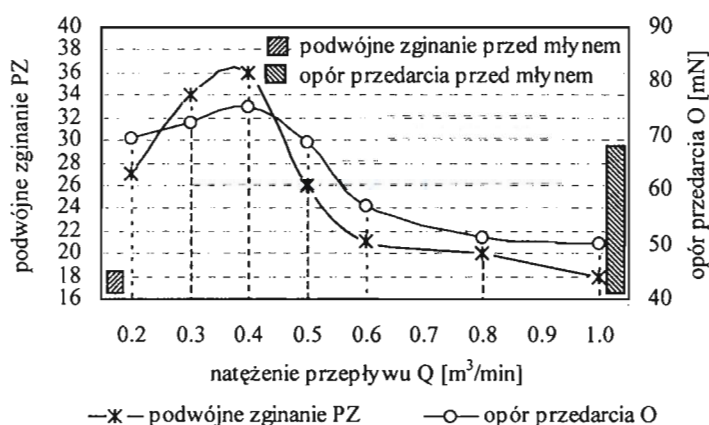
4. Dobór wydajności młyna

Zmianie wydajności – Q towarzyszą w zasadzie dwa zjawiska zachodzące w przepływającej przez młyn masie. Pierwsze to zjawisko zwiększania prędkości przepływu masy papierniczo-makulaturowej przez młyn i układanie się włókien wzdłuż promienia tarczy. Innym zjawiskiem jest zmiana czasu przebywania włókien w lokalnych zawirowaniach powstałych w komórkach międzynożowych, co związane jest z czasem obróbki poszczególnych włókien.



Rys. 4. Zmiany samozerwalności i przepuklenia w funkcji natężenia przepływu masy

Na rys. 4 przedstawiono zmiany przepuklenia i samozerwalności w funkcji natężenia przepływu masy makulaturowej przez młyn. Jak wspomniano powyżej natężenie przepływu masy warunkuje czas mielenia włókien. Samozerwalność i przepuklenie jako właściwości statyczne zależą w dużym stopniu od mocy wiązań między włóknami w papierze oraz od równomiernej struktury wytworu. Dla mniejszych czasów mielenia włókien przy wydajności 0.4-0.5 m^3/min zachodząca fibrylacja wewnętrzna i oddzielanie się frakcji drobnej od włókien ma korzystny wpływ na moc wiązań, a skracanie włókien – na równomierność struktury. Dalszy spadek tych parametrów powyżej 0.5 m^3/min jest wynikiem nadmiernego skrócenia włókien oraz dużej zawartości frakcji drobnej, która czyni wytwór sztywnym i zmniejsza jego podatność na odkształcenia.



Rys. 5. Zmiany ilości podwójnych zgięć oporu przedarcia w funkcji natężenia przepływu masy

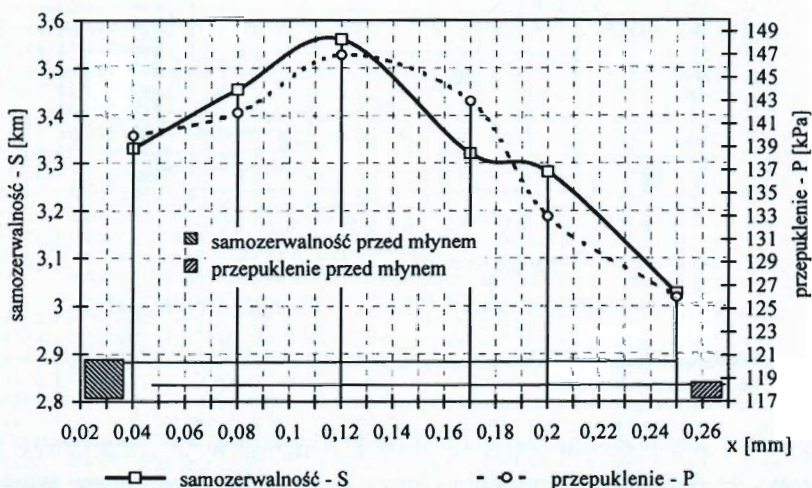
Na rys. 5 przedstawiono zmiany dwóch dynamicznych parametrów wytrzymałościowych: podwójnego zginania i oporu przedarcia. Dynamiczne właściwości papieru zależą od długości i wytrzymałości włókien, a także od zawartości struktury wytworu. W celu uzyskania maksymalnych wskaźników dynamicznych papieru konieczne jest tylko niewielkie związanie włókien w papierze. W związku z powyższym jedynie w początkowej fazie mielenia (przy mniejszych wydajnościach) fibrylacja włókien wywiera korzystny wpływ na te wskaźniki. W dalszej fazie mielenia zarówno skracanie włókien, jak również fibrylacja wewnętrzna i wydzielanie się frakcji drobnej osłabiają te parametry.

5. Regulacja zmiany wielkości szczeliny międzynożowej

Nastawiona szczelina między tarczami młyna tarczowego jest podstawowym parametrem, który wpływa w sposób najbardziej istotny na wielkość poboru mocy oraz na właściwości wytwarzanego papieru. W określonych warunkach pracy urządzenia mielącego, gdy pozostałe parametry (konstrukcyjne i technologiczne) nie ulegają zmianie, decyduje ona o intensywności procesu mielenia.

Na rys. 6 przedstawiono wpływ zmiany szczeliny na dwa podstawowe statyczne właściwości wytrzymałościowe papieru: samozewalność – S i przepuklenie – P. Krzywa bezwzględного przepuklenia przebiega podobnie jak krzywa samozewalności. Wraz ze zmniejszaniem się szczeliny od 0.25 mm następował wzrost obu parametrów osiągając wartość maksymalną przy szczelinie w zakresie

0.12-0.14 mm. Następnie przy dalszym zmniejszaniu się szczeliny międzynożowej – x nastąpił ich spadek.



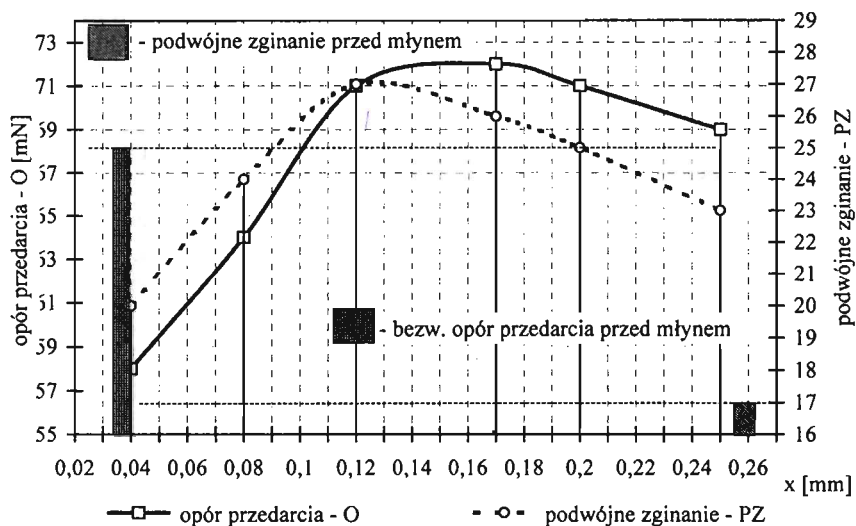
Rys. 6. Zmiany samozerwalności i przepuklenia w funkcji szczeliny

Odnosząc te zmiany do zjawisk w obrabianej masie można powiedzieć, że przy zmniejszaniu się szczeliny wzrastała intensywność procesu fibrylacji wewnętrznej włókien jak i ich skracania. Fibrylacja wewnętrzna polega na osłabieniu wiązań wodorowych łączących elementy strukturalne włókien oraz rozluźnieniu ich struktury. Włókna stają się plastyczne i giętkie, co zwiększa właściwości wytrzymałościowe gotowego papieru. Przy zbyt małych jednak szczelinach dominuje skracanie włókien, co powoduje zmniejszenie właściwości wytrzymałościowych. Z kolei przy zbyt dużej szczelinie międzynożowej włókna poddawane są głównie fibrylacji zewnętrznej a w mniejszym stopniu wewnętrznej stąd spadek obu właściwości wytrzymałościowych.

Analizując wykres przedstawiony na rys. 7 widzimy, że przebieg charakterystyk obrazujących zmiany podwójnego zginania – PZ oraz oporu przedarcia – O jest w zasadzie podobny. Obie krzywe posiadają ekstrema. Największe ich wartości występują przy szczelinie około 0.12 mm. Dla małych (około 0.04 – 0.1 mm) oraz dużych szczelin rzędu 0.25 mm wartości tych parametrów były zdecydowanie mniejsze.

Przy dużych szczelinach mniejsza wartość tych parametrów może być tłumaczona tym, że przy rozsuniętych tarczach nie występuje prawie zupełnie proces cięcia tj. fibrylacji zewnętrznej. Obserwowany nieznaczny wzrost tych parametrów

w tym zakresie jest rezultatem występowania fibrylacji wewnętrznej – czyli roz-włóknienia oraz rozdziału fibryl. Przy małych szczelinach natomiast rzędu 0,05 mm występuje głównie proces cięcia. W znacznie mniejszym stopniu zachodzi wtedy zjawisko mielenia masy między powierzchniami czołowymi noży.



Rys. 7. Zmiany oporu przedarcia i liczby podwójnych zgięć

6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły określić rzeczywisty wpływ wybranych parametrów eksploatacyjnych pracy młyna tarczowego na określone parametry wytrzymałościowe wytwarzanego papieru. Badania zrealizowano w warunkach przemysłowych.

Za optymalne z punktu widzenia wybranych parametrów wytrzymałościowych dla badanego młyna ST300S można uznać: wielkość szczeliny w przedziale $x = 0,11 - 0,14$ mm, natężenie przepływu $Q = 0,4 - 0,6$ m³/min oraz stężenie mielonej masy większe niż 1,8 %.

Literatura

1. **Kikiewicz Z.:** Urządzenia do obróbki i oczyszczania mas włóknistych. Skrypt ATR, Bydgoszcz 1980, 277-314.
2. **Kikiewicz Z., Mroziński A.:** Investigation of disc refiner ST300S to processing of paper stock. 14th International Congress of Chemical and Process Engineering, 27-31 August, CHISA '00, Prague – Czech Republic 2000, s. 173.
3. **Kikiewicz Z., Mroziński A.:** Wpływ procesu mielenia masy makulaturowej w młynie tarczowym ST300S na właściwości wytrzymałościowe papieru w układzie recykulacji. Zeszyty Naukowe ATR nr 229, Mechanika 49-2000, Bydgoszcz 2000.
4. **Kikiewicz Z., Mroziński A.:** Badanie wpływu wielkości szczeliny międzynożowej w młynie tarczowym podczas mielenia na właściwości papieru. X International conference on machinery recycling, Bydgoszcz 2000, s. 241-250.
5. **Lumiainen J.:** Refining – a key to upgrading the papermaking potential of recycled fibre. Paper Technology, No 7, Vol. 35 1994, s. 87-94.
6. **Modrzejewski K., Olszewski J., Rutkowski J.:** Metody badań w przemyśle celulozowo-papierniczym. Skrypt Politechniki Łódzkiej, Łódź 1985.
7. **Mroziński A., Kikiewicz Z.:** Beating of waste paper stock at different slot size between refiner discs. International Conference on Practical Aspects of Particle Technology, HUN-Pra-PARTEC 2001, Budapest, Hungary, 21-24 August 2001, str. 385-389.
8. **Mroziński A., Kikiewicz Z., Flizikowski J.:** Problemy recyklingu włókien makulaturowych. I-sza Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Problemy Recyklingu, 27-28 listopada, Rogów 27-28 listopad 2001, str. 63-70
9. **Przybysz K.:** Technologia celulozy i papieru. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1997, s. 68-94.
10. **Polskie Normy:** PN-76/P-50060, PN-74/P-50133, PN-75/P-50131, PN-75/N-50132, PN-75/N-50133.

SELECTION OF EXPLOATIONAL PARAMETERS OF DISC'S REFINER AND QUALITY OF RECEIVED PAPER

Summary: In the article results of investigations carried out in industrial scale in The Bydgoszcz Paper Mill. Changes of strength proprieties of paper in relation to select exploational parameters of disc refiner work were described.

Anna Grzybek*, Marek Pilawski**, Bogusław Tugi**

KONCEPCJA WYKORZYSTANIA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W UKŁADACH CHŁODNICZYCH

Streszczenie: Frakcja biologiczna odpadów komunalnych i osady ściekowe to biomasa o dużym stopniu wilgotności. Dlatego przed użyciem takiej biomasy należy ją najpierw osuszyć. W pracy przedstawiono układ suszarki biomasy, która część wysuszonej biomasy wykorzystuje jako paliwo do osuszania następnej nadawy wilgotnej biomasy. Podano również stosowne obliczenia. W pracy proponuje się wykorzystać otrzymane w ten sposób biopaliwo jako źródło energii potrzebnej do zasilania chłodziarek absorpcyjnych. Gminna sieć takich chłodziarek może być podstawą programów rozwoju gospodarczego gmin.

1. Wprowadzenie

Zarówno w Polsce, jak i w krajach Unii Europejskiej, istnieje ustawy obowiązki zwiększania stopnia wykorzystania odnawialnych źródeł energii w ogólnym procesie wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej. W kraju, spośród odnawialnych źródeł energii, najwyższy potencjał energetyczny reprezentuje sobą biomasa. Biomasa występuje w wielu postaciach. Biomasa taka jak: zrębki, trociny, słoma-jest biopaliwem wprost. Inne postaci biomasy, takie jak uwodnione osady ściekowe i wilgotna frakcja odpadów komunalnych- wymagają wstępnej obróbki technologicznej, w tym przypadku suszenia, po to, aby uzyskać z nich biopaliwo. W dalszej części pracy będzie przedstawiona koncepcja wykorzystania biomasy, w postaci zasobów frakcji biologicznej odpadów komunalnych, do celów technologicznych. W odróżnieniu od często spotykanej koncepcji wykorzystania biomasy do produkcji energii ciepłej, tu będzie przedstawiona koncepcja wykorzystania

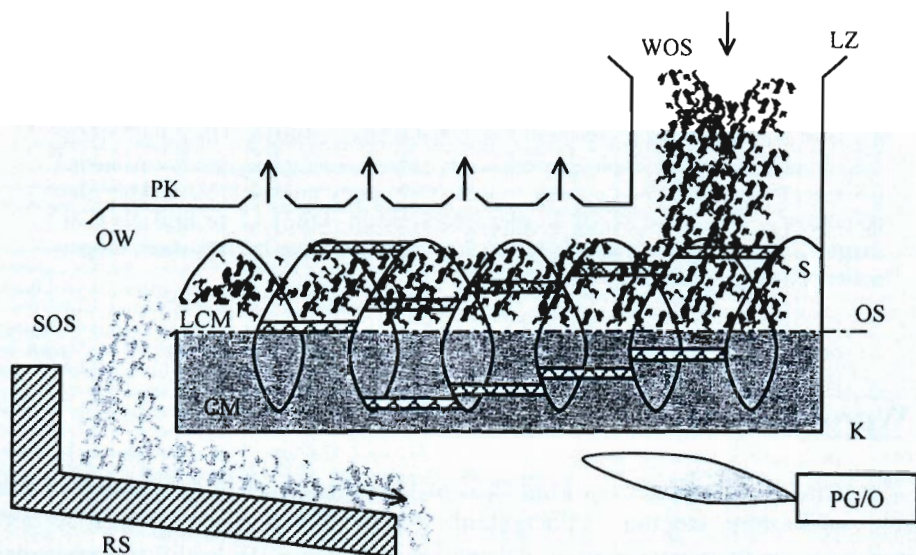
* Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa,

** Polska Agencja Ekologiczna S. A, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa.

biomasy do wytwarzania chłodu (zimna). Urządzeniem do obróbki wilgotnej frakcji biologicznej odpadów komunalnych lub uwodnionych osadów ściekowych może być suszarka ciekłometaliczna.

2. Suszarka ciekłometaliczna

Narzędziem do produkcji biopaliwa w postaci suchej biomasy może być prosty układ suszarki ciekłometalicznej przedstawionej schematycznie na rysunku nr 1.



Rys. 1. Schemat suszarki ciekłometalicznej: LZ – lej zasypowy, K – kuweta, CM – ciekły metal, LCM – lustro ciekłego metalu, OS – oś ślimacznicy, S – ślimacznica, WOS – wilgotny osad ściekowy (kompost surowy), SOS – suchy osad ściekowy (biomasa)

Podstawowym elementem suszarki ciekłometalicznej jest kuweta K z uformowanym lejem zasypowym LZ. Poprzez lej zasypowy do kuwety wprowadza się wilgotny osad ściekowy WOS lub wilgotną frakcję biologiczną wydzieloną z odpadów komunalnych.

Kuweta jest wypełniona stopem ciekłometalicznym o tak dobranej temperaturze topnienia, że jest ona wyższa od temperatury parowania wody, a niższa od temperatury odgazowania biomasy. Na poziomie lustra cieczy ciekłometalicznej LCM umocowana jest oś OS ślimacznicy S. Powierzchnie robocze ślimacznicy

dodatkowo połączone są ze sobą cienkimi blaszkami tworzącymi łopatki. Obracająca się ślimacznica warstwę wilgotnej biomasy o grubości równej promieniowi ślimacznicy przesuwając od strony leja zasypowego w kierunku otworu wylotowego OW. Połowa objętości ślimacznicy jest cały czas zanurzona w ciekłym metalu przenosząc ciepło od palnika gazowego (olejowego) PG/O do suszonej biomasy. Dodatkowo wilgotna biomasa łopatkami ślimacznicy jest mieszana z ciekłym metalem powodując odparowanie z niej wilgoci. Odparowana z wilgotnych osadów ściekowych para wodna uchodzi do otoczenia do poprzez otwory w pokrywie kury PK. Wstępnie osuszona biomasa, np. w postaci wstępnie osuszonych osadów ściekowych SOS, przesuwa się grawitacyjnie na rynnę spustową RS, po której przemieszczając się do zbiornika magazynowego jest dosuszana spalinami emitowanymi przez palnik.

Warstwa ciekłego metalu zapewnia równomierny rozkład pożądanej temperatury w suszarce i powoduje, że suszony materiał nie przywiera do ścian suszarki.

Wydajność suszarki reguluje się w prosty sposób poprzez zmianę prędkości obrotowej ślimacznicy.

W szczególnym przypadku palnikiem gazowym w suszarce może być palnik stanowiący integralną część gazyfikatora wytworzonego w suszarce biopaliwa.

3. Bioodpady jako biopaliwo

Odpady bioorganiczne wymieszane z innymi grupami rodzajowymi odpadów w strumieniu odpadów komunalnych stanowią duży kłopot. Po wydzieleniu ich z odpadów komunalnych przeznacza się je zwykle do kompostowania. Tak wytworzony kompost zawiera dużo zanieczyszczeń i zwykle jest dyskwalifikowany przez nabywców. Ze strumienia odpadów komunalnych odpady bioorganiczne wydzielając jednak trzeba ze względu na procesy fermentacyjne jakie w nich zachodzą i cały zespół uwarunkowań prawnie – ekologicznych. Proponuje się, aby w tej sytuacji wydzielone odpady bioorganiczne osuszyć, np., w suszarce ciekłometalicznej, a osuszone potraktować jako biomasę, która należy do odnawialnych źródeł energii – biopaliw.

Warunki wytwarzania tego rodzaju biopaliwa zostaną rozpatrzone na przykładzie 65 000 ton odpadów komunalnych zmieszanych wytwarzanych rocznie przez miasto, powiat lub związek gmin. Jeśli w odpadach tych zawarte jest 30% odpadów bioorganicznych, to znaczy dysponuje się ilością 19 500 ton wilgotnej biomasy. Stopień uwodnienia wilgotnej biomasy surowej wynosi zwykle 60%, czyli zawiera ona 11 700 ton wody i 7 800 ton s. m. (suchej masy). Po wysuszeniu bio-

masy wilgotnej do biomasy o wilgotności 10% uzyskuje się biopaliwo w ilości 8 667 ton. Przyjmując, że suszarka odpadów bioorganicznych pracuje równomiernie przez 8 760 godzin w roku, określona zostaje jej wydajność:

- od strony wejścia 2,23 t/h odpadów bioorganicznych
- od strony wyjścia 1 t/h biopaliwa o wilgotności 10% brutto
- odparowanie wody 1,24 t/h

Przyjmując wartość opałową biopaliwa równą 12,6 MJ/kg (3,5 KWh/kg) otrzymuje się jego potencjał energetyczny brutto równy 30 335 MWh.

Do osuszenia 1 t wilgotnej biomasy (odpadów bioorganicznych) wymagana jest energia 0,5 MWh/t. A zatem dla 19 500 ton wilgotnej biomasy zapotrzebowanie na energię wyniesie 9 750 MWh, zapotrzebowanie na średnią moc całoroczną 1,11 MW.

Aby wyprodukować energię w ilości 9 750 MWh potrzebną do suszenia odpadów **bioorganicznych należy zużyć 2 786 ton biopaliwa**. Układ suszarki pracuje w ten sposób, że w skali roku pobiera ona na własne potrzeby energetyczne 2 786 ton biopaliwa z ogólnej ilości wyprodukowanego biopaliwa 8 667 ton. Suszarka nie wymaga zewnętrznych źródeł zasilania. W skali godziny suszarka zużywa zatem 0,32 t wyprodukowanego przez siebie biopaliwa. Produkcja brutto biopaliwa w ilości 1 t/h redukuje się zatem do 0,68 t/h. W skali rocznej ilość wyprodukowanego biopaliwa z 8 667 ton brutto redukuje się do ilości 5 881 ton netto. Na skutek zużycia własnego biopaliwa jego potencjał energetyczny brutto, szacowany na 30 335 MWh, zmniejsza się o 9 750 MWh do potencjału energetycznego netto 20 585 MWh. Wyprodukowanym biopaliwem można zasilać kocioł ciepły o mocy 2,35 MW.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można wyznaczyć pozorną wartość opałową odpadów bioorganicznych liczoną jako stosunek potencjału energetycznego netto do ilości tych odpadów biodegradowalnych (biomasy suchej). W tym przypadku wynosi ona 3 800 kJ/kg (1,05 MWh/kg). Pełne zestawienie parametrów procesu produkcji biopaliwa z odpadów bioorganicznych wydzielonych ze strumienia odpadów komunalnych zawiera tabela 1.

Biopaliwo tak wytworzone można wykorzystać w różny sposób. Można je współspalać z węglem w kotłowniach węglowych [1], wykorzystać do suszenia osadów ściekowych [2] lub wytworzone ciepło wykorzystać do własnych procesów technologicznych. Sposób i warunki wykorzystania tego typu paliw alternatywnych określają Rozporządzenia Ministra Gospodarki [3] i Ministra Środowiska [4]. Powyższym rodzajem zastosowania podlega również słoma [5].

Tab. 1. Bilans materiałowo – energetyczny suszarki

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1	Ilość odpadów bioorganicznych	t	19 500
2	Stopień uwodnienia odpadów bioorganicznych	%	60
3	Ilość biopaliwa brutto	t	8 667
4	Stopień wilgotności biopaliwa	%	10
5	Wartość opałowa biopaliwa	MJ/kg	12,6
6	Wydajność suszarki od strony wejścia	t/h	2,23
7	Intensywność odparowania wody	t/h	1,24
8	Wydajność procesu produkcji biopaliwa	t/h	1,00 brutto 0,68 netto
9	Zużycie własne biopaliwa	t/h	0,32
10	Zużycie biopaliwa	t	2 786
11	Ilość biopaliwa netto	t	5 881
12	Potencjał energetyczny biopaliwa	MWh	30 335 brutto 20 585 netto

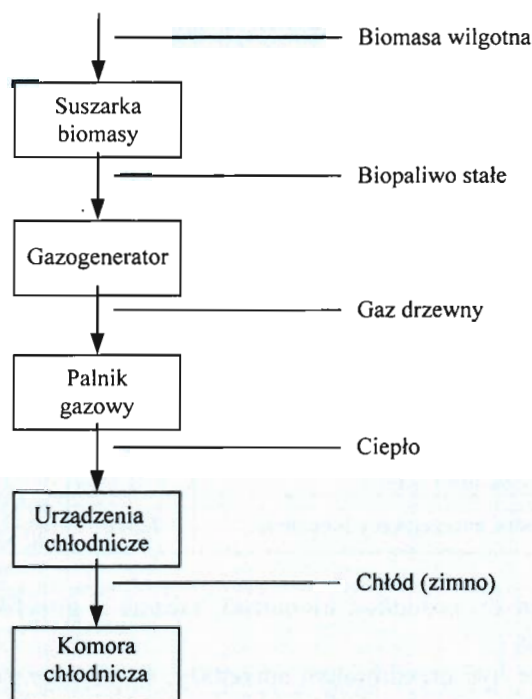
Zespół urządzeń do produkcji biopaliwa, łącznie z gazyfikatorem biomasy, jest dostępny w kraju.

Biopaliwo może być przedmiotem sprzedaży. Gdyby sprzedawać je w cenie 90 zł/t, to ze sprzedaży 5 881 t osiągnięty byłby przychód w wysokości 522 290 zł. Gdyby ponadto przyjmować opłatę za przyjęcie odpadów do zagospodarowania w wysokości też 90 zł/t, to za przyjęcie 19 500 ton odpadów bioorganicznych spodziewany przychód wyniósłby 1 755 000 zł. Łącznie przychody roczne w wysokości 2 277 290 zł pokrywają w przybliżeniu koszt zakupu lub wytworzenia instalacji do produkcji biopaliwa.

Potencjał energetyczny biopaliw można w szczególności wykorzystać do produkcji zimna (chłodu).

4. Koncepcja wykorzystania biopaliwa w układach chłodniczych

Znane chłodziarki zasilane są energetycznie albo prądem elektrycznym, albo gazem propan-butan. W rozpatrywanym przypadku gaz propan-butan proponuje się zastąpić energetycznie równoważną ilością gazu drzewnego otrzymanego ze zgazowania biomasy odpadowej. Schemat układu chłodziarki przedstawiony jest na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy chłodni na biomasę

W chłodziarkach zainstalowana jest moc ok. 1W na 1 l pojemności chłodziarki. Chłodziarki przydomowe w gospodarstwach rolnych o pojemności 100 m³ wymagają zasilania mocą ok. 50 kW, co przekłada się na zużycie biopaliwa w ilości ok. 25 kg na godzinę. Uwzględniając okres chłodniczy w naszym klimacie na 4 000 godzin w roku, uzyskuje się roczne zużycie biopaliwa na gospodarstwo w wysokości ok. 100 ton

Na koncepcji wykorzystania odnawialnych źródeł energii w układach chłodniczych można oprzeć strategię wzrostu ich zużycia w ogólnym bilansie paliwowo-energetycznym kraju i strategię rozwoju gospodarczego gmin wiejskich.

Literatura

1. **Wandrasz J.W. i inni:** Możliwości współspalania osadów z oczyszczalni ścieków z węglem w kotłach rusztowych. *Gospodarka Paliwami i Energią*, Nr 8/2000, s. 10–15.
2. **Pilawski M.:** „Zamknięte obiegi materiałowo – energetyczne w systemach gospodarki odpadami komunalnymi i osadami ściekowymi”, „Samolikwidacja odpadów”, „Eko – profit”, (Finanse, Technologia, Prawo), Nr 3, marzec 2000 i Nr 4, marzec 2000.
3. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 15.12.2000 r. w sprawie obowiązku zakupu energii elektrycznej ze źródeł niekonwencjonalnych i odnawialnych oraz wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła, a także ciepła ze źródeł niekonwencjonalnych i odnawialnych oraz zakresu tego obowiązku.
4. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 8. 09. 1999r. w sprawie wprowadzania do powietrza substancji zanieczyszczających z procesów technologicznych i operacji technicznych, Dz. U. Nr 121, poz. 793.
5. **Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K.:** *Słoma – energetyczne paliwo*”, ss.71, Wyd. Wieś Jutra Sp. z o. o, Warszawa 2001 r.

RENEWABLE ENERGY SOURCES USING CONCEPTION IN COOLING SYSTEMS

Abstract: Bioorganic wastes constitute a major part of municipal wastes and some industrial wastes, for example sludge. Among them only biological organic wastes are subject to fermentation – composting and/or drying to made subject to biofuel-biomass. Among biofuel-biomass thermal utilisation methods such as pyrolysis, combustion, gasification – the gasification is a distinguished multiphase process allowing its multi parameter steering from the standpoint of obtaining desired ecological and energy parameters of synthetic gas received in this process. Refuse organic biomass before using requires a proper drying processes. New type of drying device is presented in the paper. Biofuel-biomass can be used to supplying absorber type cooling systems.

Anna Grzybek,^{*} Marek Pilawski, Zbigniew Pabjan, Michał Ziętek^{**}

LOKALNA ELEKTROCIEPŁOWNIA WYKORZYSTUJĄCA JEDNOCZEŚNIE ODNAWIALNE I ALTERNATYWNE ŹRÓDŁA ENERGII

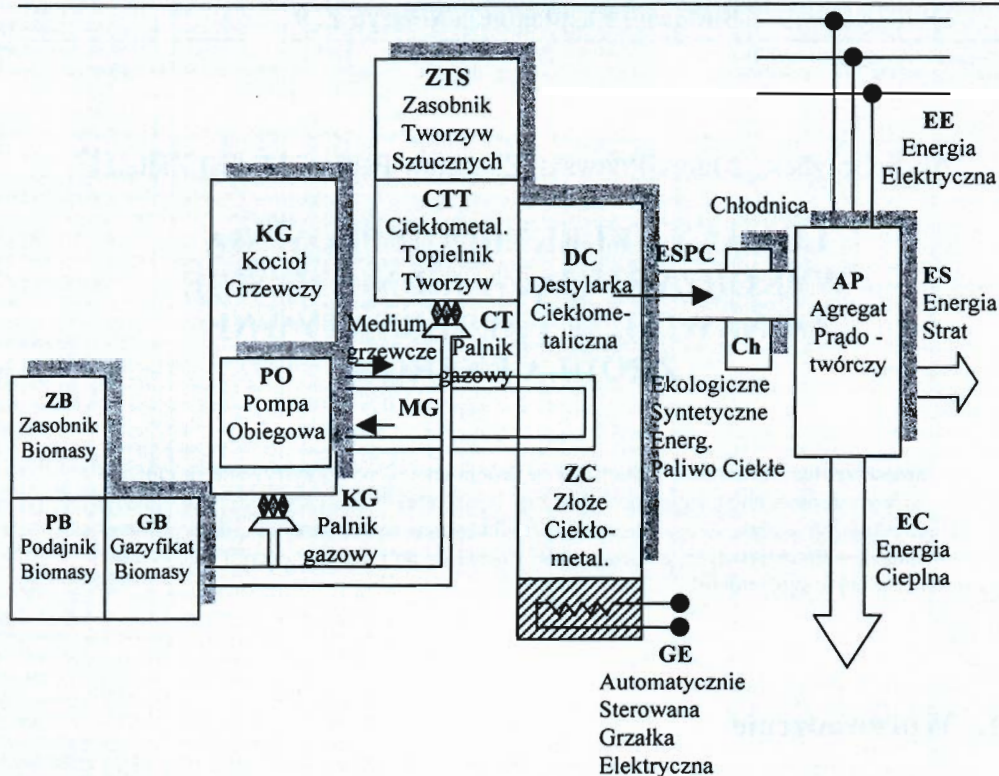
Streszczenie: Odnawialne i alternatywne źródła energii wykorzystywane są głównie do wytwarzania energii cieplnej. Znacznie lepsze efekty energetyczne i ekologiczne uzyskuje się jednak wtedy, odnawialne źródła energii wykorzystuje się do wytwarzania paliw alternatywnych, a te zaś z kolei stosuje się do produkcji energii elektrycznej i cieplnej w skojarzeniu.

1. Wprowadzenie

Największym źródłem energii odnawialnej w Polsce jest biomasa. Biomase można wykorzystać nie tylko do produkcji ciepła, ale również do produkcji chłodu (zimna) [1]. Na świecie funkcjonują elektrociepłownie, w których podstawowym paliwem jest biomasa. Biomasa, jako paliwo, służy w tym przypadku do wytwarzania pary technologicznej. Podejmowane są również próby zgazowania biomasy i wykorzystania uzyskanego w ten sposób gazu syntezowego (gazu drzewnego) jako paliwa zasilającego agregaty prądotwórcze wyposażone w silnik gazowy. Jednak potencjał energetyczny biomasy można wykorzystać także do wytwarzania ciepła technologicznego, a pośrednio do produkcji wysokoenergetycznych i ekologicznych paliw alternatywnych. Przykładem takiego właśnie wykorzystania biomasy jest proces i urządzenie do przetwarzania odpadowych opakowań z tworzyw sztucznych [2] (rys. 1).

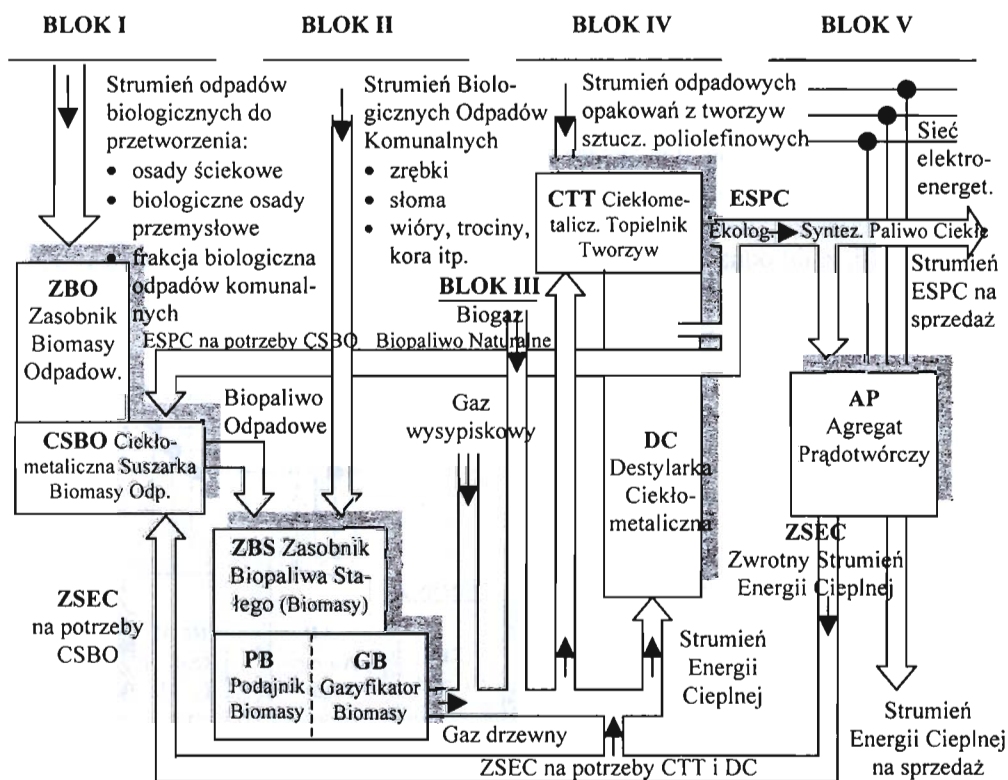
^{*} Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, ul. Rakowiecka 32, 02 – 532 Warszawa,

^{**} MARKON Co., ul. Łojewska 9 lok. 3, 03 – 392 Warszawa.



Rys. 1. Układ elektrociepłowni na biomasę

W tym przypadku spalany gaz, otrzymany z gazyfikatora biomasy, jest źródłem ciepła dla kotła grzewczego i topielnika tworzyw sztucznych. W destylarce ciekłometalicznej [2] tworzywa przekształcają się na komponenty paliw, które w dalszej kolejności zasilają agregat prądowórczy wyposażony w silnik diesla. W przedstawionym układzie z 1 kg biomasy o wartości opałowej 2 kWh/kg uzyskuje się 11 komponentów paliw o wartości opałowej 10 kWh/1l. Pośrednio zatem z 1 kg biomasy można pozyskać energię o wartości 10 kWh. Przyjmując dalej, że agregat prądowórczy charakteryzuje się sprawnością energetyczną 86%, na wyjściu elektrociepłowni na biomasę otrzymuje się z każdego kilograma biomasy energię elektryczną o mocy 2,5 kW, energię cieplną o mocy 6,1 kW, gdzie moc strat to 1,4 kW.



ZSEC – Zwrotny Strumień Energii Ciepłej

CSBO – Cieklometaliczna Suszarka Biomasy Odpadów

CTT – Cieklometaliczny Topielnik Tworzyw

DC – Destylarka Cieklometaliczna

Rys. 2. Układ elektrociepłowni na biopaliwo

Układy elektrociepłowni na biomasę mogą być układami lokalnymi, gdyż zarówno biomasa odpadowa jak i odpady występują w kraju w sposób rozproszony.

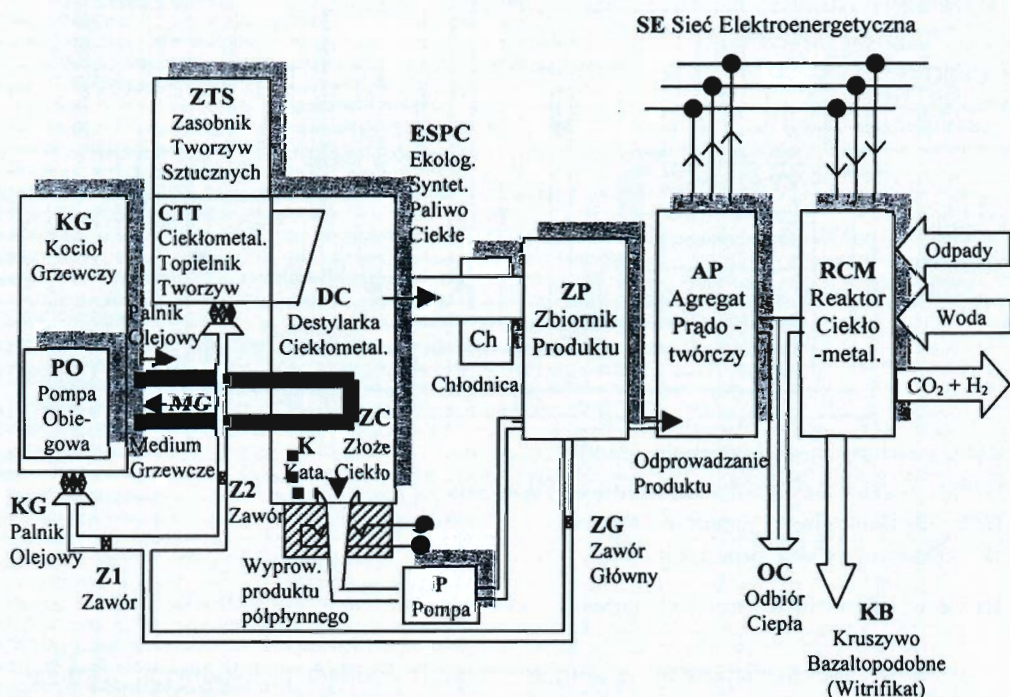
Lokalne elektrociepłownie na biomasę mogą wypełniać w regionie ważną funkcję ekologiczną i energetyczną.

Rozwinięciem układu elektrociepłowni na biomasę jest układ elektrociepłowni na biopaliwo (rys. 2) W układzie tym kaskadowo połączone ze sobą bloki paliwowo – energetyczne (Blok I do Blok V) wytwarzają w konsekwencji energię elektryczną i energię ciepłą przeznaczoną na sprzedaż. Część energii elektrycznej i część

energii cieplnej generowanej w układzie wykorzystywana jest zwrótnie do celów technologicznych procesu.

Lokalna elektrociepłownia na biopaliwo może być zlokalizowana w pobliżu wysypiska odpadów komunalnych (gaz wysypiskowy, biomasa, odpadowe tworzywa sztuczne), w pobliżu oczyszczalni ścieków (biogaz, biomasa) lub też w pobliżu koncentracji innego rodzaju biomasy odpadowej.

Ideę kaskadowego łączenia bloków paliwowo – energetycznych wykorzystujących w swym działaniu odnawialne i alternatywne źródła energii można także wykorzystać w urządzeniu do przetwarzania wszelkich odpadów z odzyskiem, zwłaszcza odpadów niebezpiecznych [3] (rys. 3).



PO – Pompa obiegowa

Ch – Chłodnica

Rys. 3. Schemat urządzenia do przetwarzania wszelkich odpadów z odzyskiem

W tym przypadku bloki paliwowo – energetyczne dostarczają energię cieplną i elektryczną do reaktora RCM.

Koszt wytworzenia energii przeznaczonej na sprzedaż jest w tym przypadku pomniejszony o opłaty pobierane za przyjęcie odpadów niebezpiecznych do likwidacji.

Literatura

1. **Grzybek A., Pilawski M., Pabjan Z., Ziętek M.:** Koncepcja wykorzystania odnawialnych źródeł energii w układach chłodniczych. II Międzynarodowe Seminarium Naukowo-Techniczne: „Wybrane problemy w budowie i eksploatacji maszyn” i II Ogólnopolskie Forum: „Maszyny i procesy do utylizacji odpadów”, Białystok – Białowieża, 28 – 30 sierpień 2002 r.
2. **Pilawski M., Pabjan Z., Ziętek M.:** Proces i urządzenie do przetwarzania odpadowych opakowań z tworzyw sztucznych. II Międzynarodowe Seminarium Naukowo-Techniczne: „Wybrane problemy w budowie i eksploatacji maszyn” i II Ogólnopolskie Forum: „Maszyny i procesy do utylizacji odpadów”, Białystok – Białowieża, 28 – 30 sierpień 2002 r.
3. **Pilawski M., Pabjan Z., Ziętek M.:** Termiczna bezodpadowa i bezkominowa technologia przetwarzania wszelkich odpadów z odzyskiem. II Międzynarodowe Seminarium Naukowo-Techniczne: „Wybrane problemy w budowie i eksploatacji maszyn” i II Ogólnopolskie Forum: „Maszyny i procesy do utylizacji odpadów”, Białystok – Białowieża, 28 – 30 sierpień 2002 r.

RENEWABLE AND ALTERNATE ENERGY SOURCES UTILIZATION IN POWER PLANT

Abstract: Renewable and alternate energy sources are used to produce heat energy mainly. Better effects are possible to reach in such a case when the renewable energy sources are used to produce alternate fuels. These fuels are applied to generate heat and electric energy.

Roman Hejft*

ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY GĘSTOŚCIĄ A PARAMETRAMI WYTRZYMAŁOŚCIOWYMI BRYKIETÓW PASZOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań zależności pomiędzy gęstością ρ brykietów (z udziałem słomy), a wytrzymałością kinetyczną P_{dx} , wytrzymałością brykietów na ścinanie R_t oraz wytrzymałością brykietów na ściskanie R_s . Badania wykazały, że gęstość brykietów ρ skorelowana z parametrami wytrzymałościowymi brykietów P_{dx} , R_t , R_s , stanowi wskaźnik charakteryzujący jakość brykietów, przydatny przy ich transporcie i składowaniu.

1. Wprowadzenie

Brykiety paszowe wytwarzane są podczas procesu ciśnieniowej aglomeracji, w którym rozdrobniony materiał roślinny, pod działaniem sił zewnętrznych i wewnętrznych ulega zagęszczeniu i scaleniu, uzyskując określoną stałą formę geometryczną.

Spośród wielu zalet charakteryzujących brykiety paszowe wymienić należy możliwość ich transportu i przechowywania bez opakowań. Stąd też brykiety powinny się cechować dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi zapewniającymi ich odporność na rozkruszanie, ścieranie, pękanie.

W literaturze można spotkać różne sposoby określania cech wytrzymałościowych brykietów: wytrzymałość na zgniot, wytrzymałość na zrzut, wytrzymałość (odporność) na ścieranie, wytrzymałość na ścinanie, wytrzymałość na boczne i wzdłużne naciski rozkruszające [1, 2]. Wielość i różnorodność metod doświadczalnych sprawia, że często brak jest wzajemnych korelacji między podawanymi wartościami poszczególnych cech wytrzymałościowych.

* Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok

Badania zależności pomiędzy gęstością a parametrami wytrzymałościowymi brykietów pozwalają przybliżyć opracowanie jednoznacznej metody badania jakości brykietów paszowych pod względem ich cech wytrzymałościowych.

2. Metodyka badań

Do badań użyto brykiety otrzymane z mieszanki paszowej z udziałem słomy (tab.1) o wilgotności 12%.

Tab. 1. Receptury mieszanek paszowych (A,B)

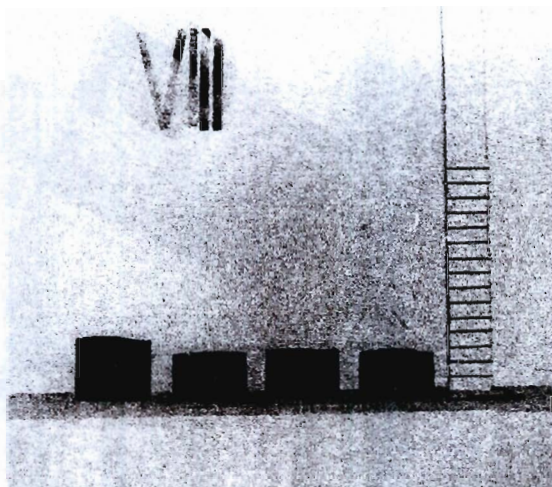
Komponenty	Procentowa zawartość									
	A [%], $L_t(\text{słomy}) = 6 \text{ mm}$					B [%], $L_t(\text{słomy}) = 10 \text{ mm}$				
Słoma żytnia	15	30	45	60	71	15	30	45	60	71
Żyto	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Susz z traw	56	41	26	11	-	56	41	26	11	-
Wysłodki buraczane	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Polfamix	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Melasa ¹⁾	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Mocznik	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

¹⁾ melasa została dodana po wymieszaniu komponentów (wg. receptury z tabeli 1)

Mieszanki pasz objętościowych zostały zróżnicowane pod względem procentowej zawartości słomy ($S = 15\%, 30\%, 45\%, 60\%, 71\%$). Długości cząstek ciętej słomy $L_t = 6 \text{ mm}$.

Przez określenie $L_t = 6 \text{ mm}$ należy rozumieć długość cząstek słomy rozdrobnionej na uniwersalnym rozdrabniaczu RU-3M przy zastosowaniu sit o oczkach 6 mm. Średnia procentowa zawartość poszczególnych frakcji rozdrobnionej słomy wynosi: $L_t = 6 \text{ mm}$; $0 \div 5 \text{ mm} - 58,1\%$, $5 \div 10 \text{ mm} - 30,2\%$, $10 \div 20 \text{ mm} - 10,9\%$, $20 \div 30 \text{ mm} - 0,8\%$.

Przykładowe zdjęcia brykietów (o średnicy $D = 50 \text{ mm}$) przedstawiono na (rys. 1).



Rys. 1. Przykładowe brykiety

W badaniach ustalono następujące parametry wytrzymałościowe brykietów (otrzymanych na stanowisku SB-1 [1] przy różnych naciskach zagęszczających i różnym udziale procentowym słomy:

- wytrzymałość kinetyczna P_{dx} ,
- wytrzymałość brykietów na ścinanie (poprzeczne) R_t ,
- wytrzymałość brykietów na ściskanie (osiowe) R_s ,

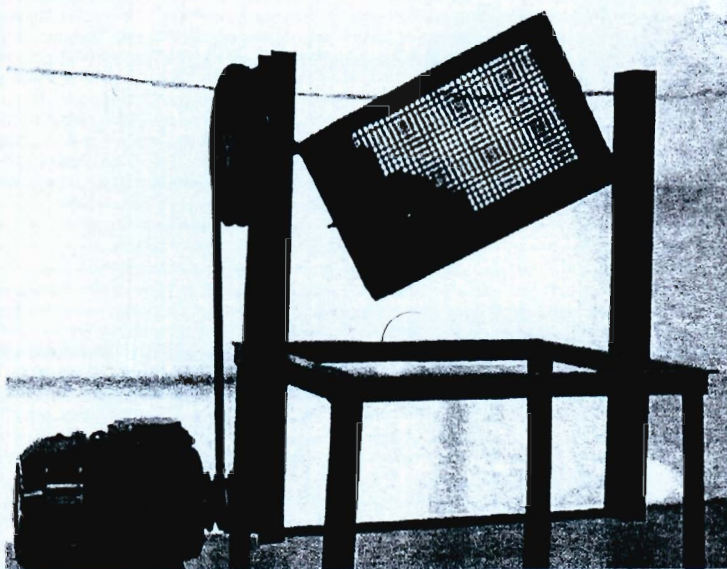
a także określono każdorazowo gęstość ρ brykietów poddanych badaniom.

Badania wytrzymałości kinetycznej brykietów realizowano przy użyciu stanowiska SB-11 (rys. 2) z wykorzystaniem zaleceń GOST-18691-73 [1].

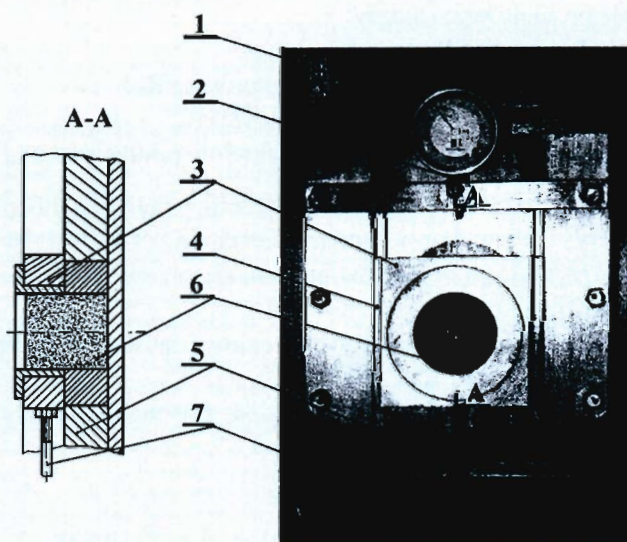
Badania wytrzymałości brykietów na ścinanie przeprowadzono na przyrządzie SB-13 (rys. 3) [1, 2].

Badania wytrzymałości brykietów na osiowe ściskanie przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej EDZ-40.

Gęstość badanych brykietów określono jako stosunek ich masy do objętości.



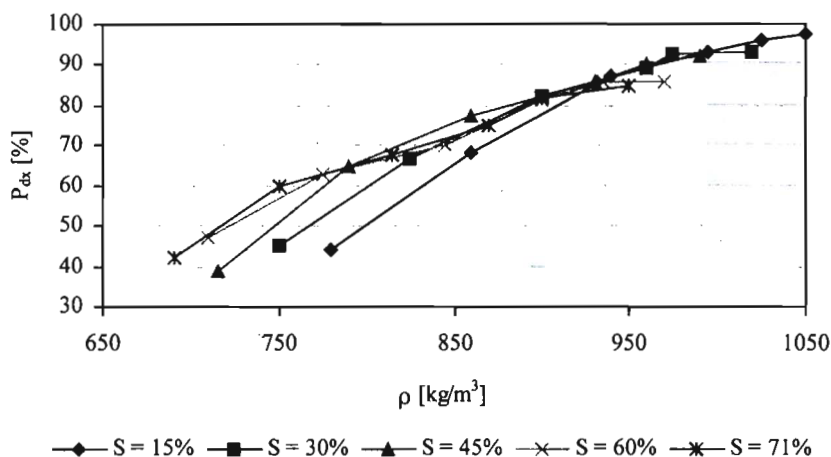
Rys. 2. Widok stanowiska do pomiaru wytrzymałości kinetycznej brykietów



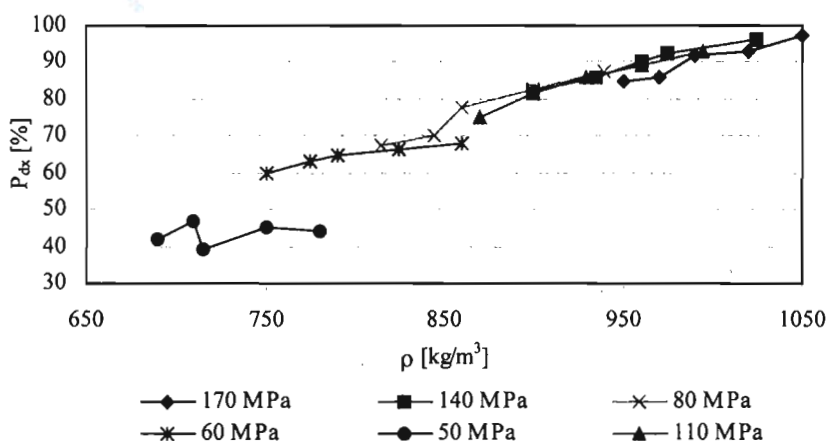
Rys. 3. Przyrząd do badania wytrzymałości brykietów na ścinanie: 1 – czujnik zegarowy, 2 – mocowanie czujnika zegarowego, 3 – płyta ruchoma, 4 – płyta prowadząca, 5 – podstawa, 6 – brykiet, 7 – śruba z układem obciążającym płytę ruchomą [2]

3. Wyniki badań

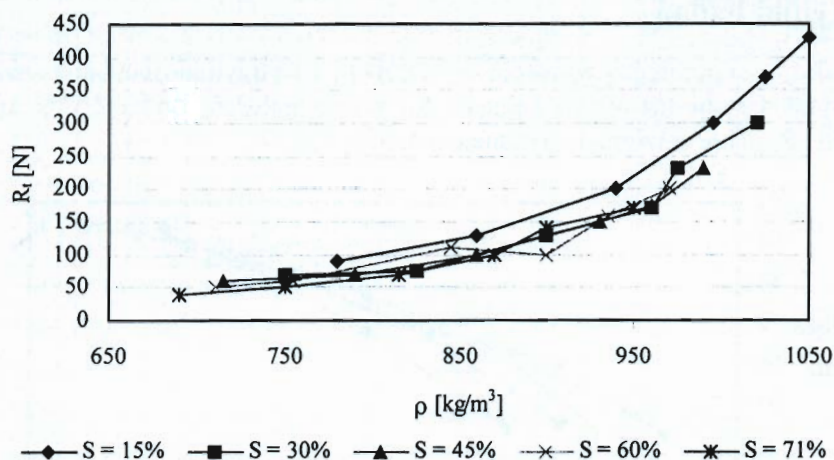
Zależności pomiędzy gęstością brykietów ρ , a wytrzymałością kinetyczną P_{dx} , wytrzymałością brykietów na ścinanie R_t , wytrzymałością brykietów na osiowe ściskanie R_s przedstawiono na rysunkach 4, 5, 6, 7, 8, 9.



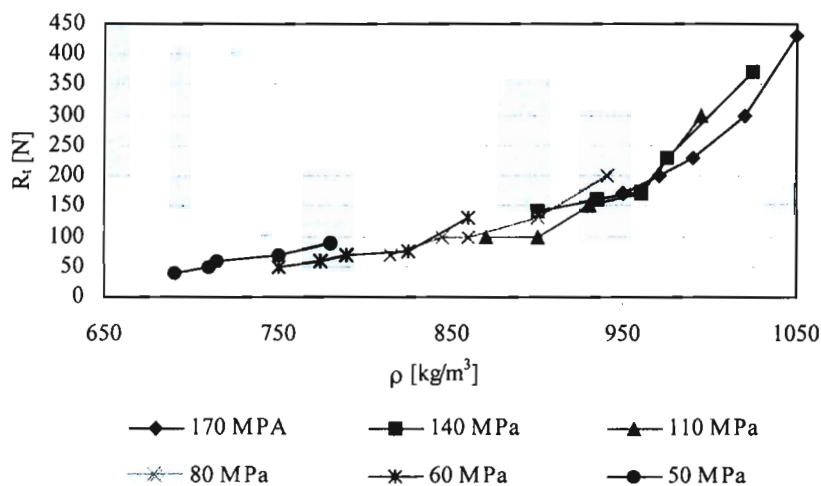
Rys. 4. Zależność wytrzymałości kinetycznej P_{dx} od gęstości brykietów ρ , dla mieszanek (Tab.1) z 15%, 30%, 45%, 60%, 75% udziałem słomy, otrzymanych przy różnych naciskach zagęszczających. Mieszanka A



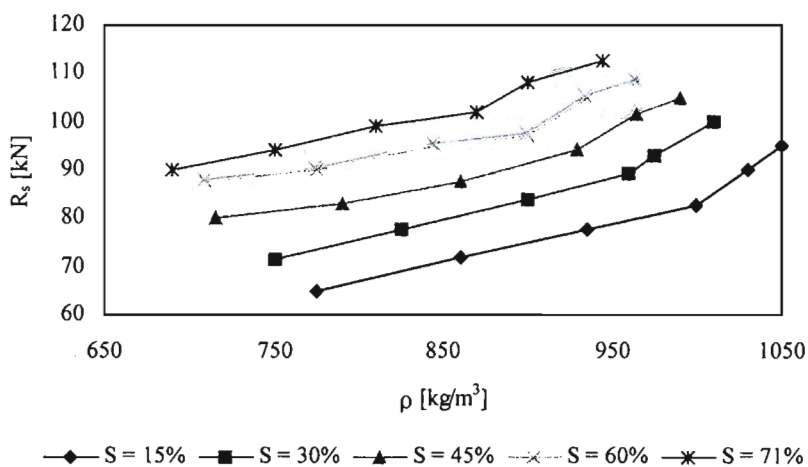
Rys. 5. Zależność wytrzymałości kinetycznej P_{dx} od gęstości brykietów ρ , dla mieszanek (Tab.1) z różnym udziałem słomy, otrzymanych przy naciskach zagęszczających 50 MPa, 60 MPa, 80 MPa, 110 MPa, 140 MPa, 170 MPa. Mieszanka A



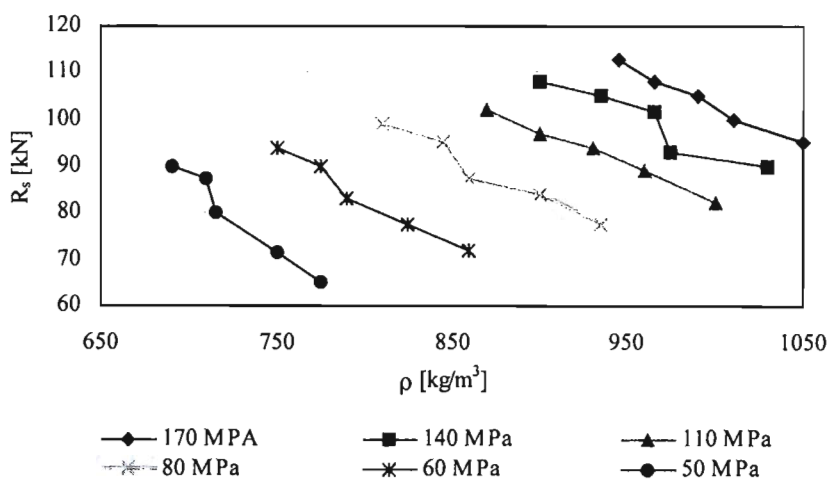
Rys. 6. Zależność wytrzymałości brykietów na ścinanie R_t od gęstości ρ , dla mieszanki (tab.1) z 15%, 30%, 45%, 60%, 75% udziałem słomy, otrzymanych przy różnych naciskach zagęszczających. Mieszanka A



Rys. 7. Zależność wytrzymałości brykietów na ścinanie R_t od gęstości ρ , dla mieszanki (tab.1) z różnym udziałem słomy, otrzymanych przy naciskach zagęszczających 50 MPa, 60 MPa, 80 MPa, 110 MPa, 140 MPa, 170 MPa. Mieszanka A



Rys. 8. Zależność wytrzymałości brykietów na ściskanie R_s od gęstości ρ , dla mieszanki (tab.1) z 15%, 30%, 45%, 60%, 75% udziałem słomy, otrzymanych przy różnych naciskach zagęszczających. Mieszanka A



Rys. 9. Zależność wytrzymałości brykietów na ściskanie R_s od gęstości ρ , dla mieszanki (tab.1) z różnym udziałem słomy, otrzymanych przy naciskach zagęszczających 50 MPa, 60 MPa, 80 MPa, 110 MPa, 140 MPa, 170 MPa. Mieszanka A

1. Na podstawie wyników badań przedstawionych na rysunkach 4, 5 można uznać (na podstawie zaleceń GOST-18691-73), że brykiety o gęstości powyżej $\rho > 900 \text{ kg/m}^3$ posiadają dostateczną wytrzymałość kinetyczną $P_{dx} > 80\%$, charakteryzującą ich przydatność użytkową jako pasz brykietowanych. Zależność wytrzymałości kinetycznej brykietów P_{dx} od gęstości ρ , w obszarze gęstości $\rho > 900 \text{ kg/m}^3$, można uznać za liniową tzn. wzrost gęstości brykietów powoduje proporcjonalny wzrost ich wytrzymałości kinetycznej P_{dx} . Brykiety z mniejszą zawartością procentową słomy uzyskują większą gęstość ρ i wytrzymałość kinetyczną P_{dx} w porównaniu do brykietów z większą zawartością słomy.
2. Na podstawie wyników badań przedstawionych na rys. 6, 7 można przyjąć, że zależność wytrzymałości brykietów na ścinanie R_t od gęstości ρ , w obszarze gęstości $\rho > 900 \text{ kg/m}^3$, ma charakter liniowy, przy czym brykiety z mniejszą zawartością cząstek słomy uzyskują zarówno większą gęstość ρ jak i wytrzymałość na ścinanie R_t .
3. Na podstawie wyników badań przedstawionych na rys. 8, 9 można przyjąć, że zależność wytrzymałości brykietów na osiowe ściskanie R_s od gęstości ρ ma charakter liniowy. Z rys. 8 wynika, że zwiększenie gęstości ρ dla brykietów z 15%, 30%, 45%, 60%, 71% udziałem słomy powoduje wzrost ich wytrzymałości na ściskanie R_s , przy czym wytrzymałość brykietów R_s zwiększa się wraz ze wzrostem procentowej zawartości słomy S . Na podstawie rys. 9 można zauważyć, że wzrost gęstości dla brykietów z różnym udziałem procentowym słomy, przy danym nacisku zagęszczającym powoduje spadek wytrzymałości brykietów R_s , przy czym wytrzymałość brykietów R_s rośnie wraz ze wzrostem nacisków zagęszczających. Przebieg zależności przedstawionych na rys. 8, 9 można tłumaczyć tym, iż ze spadkiem procentowym słomy (wzrost średniej wielkości cząstek w zagęszczanym materiale), przy danych naciskach zagęszczających, następuje wzrost gęstości brykietów. Jednocześnie wzrost procentowej zawartości słomy S w brykiecie powoduje wzrost wiązań mechanicznych między cząsteczkami, co prowadzi do wzrostu wytrzymałości brykietów R_s .

Przykładowe zależności pomiędzy gęstością ρ brykietów, ich wytrzymałością kinetyczną P_{dx} , wytrzymałością na ścinanie R_t , wytrzymałością brykietów na osiowe ściskanie R_s , a procentową zawartością ciętej ($L_T = 6 \text{ mm}$) słomy S w brykiecie przedstawiają zależności (1)+(8).

$$\rho = 1081,8 - 2,1S \quad (1)$$

$$P_{dx} = 99,4 - 0,2S \quad (2)$$

$$R_s = 90,9 + 0,3S \quad (3)$$

$$R_t = 567 - 11S + 0,0785S^2 \quad (4)$$

dla nacisków zagęszczających $p_k = 170 \text{ MPa}$

$$\rho = 963,8 - 2,15S \quad (5)$$

$$P_{dx} = 93,4 - 0,37S \quad (6)$$

$$R_s = 72,1 + 0,37S \quad (7)$$

$$R_t = 255 - 5S + 0,038S^2 \quad (8)$$

dla nacisków zagęszczających $p_k = 80 \text{ MPa}$

gdzie: $15\% \leq S \leq 71\%$, ρ [kg/m^3], P_{dx} [%], R_s [kN], R_t [N].

4. Podsumowanie

Parametry wytrzymałościowe:

- *wytrzymałość kinetyczna brykietu P_{dx} [%] charakteryzuje odporność brykietu na rozkruszanie,*
- *(wytrzymałość brykietu na ściskanie R_s [N] charakteryzuje zdolność brykietu do przenoszenia obciążeń zewnętrznych wzdłuż jego osi,*
- *wytrzymałość brykietu na ścinanie R_t [N] charakteryzuje zdolność brykietu do przenoszenia obciążeń zewnętrznych poprzecznych (względem osi),*

dotyczą cech użytkowych brykietów, które charakteryzują ich jakość podczas transportu, składowania i przechowywania.

Biorąc pod uwagę, że wytrzymałość brykietu na ściskanie R_s jest niewspółmiernie wysoka w porównaniu do wytrzymałości na ścinanie R_t , jej określanie do celów użytkowych jest niecelowe. Dodatkowym argumentem jest brak unormowań metodycznych odnośnie parametru R_s oraz fakt, że w praktyce brykiety nie są poddawane tak wysokim naciskom wzdłuż ich osi. Można zatem przyjąć, że do oceny jakości (trwałości) brykietów należy określić ich wytrzymałość kinetyczną P_{dx} i wytrzymałość na ścinanie R_t .

Biorąc pod uwagę liniową zależność pomiędzy wytrzymałością kinetyczną P_{dx} i wytrzymałością na ścinanie R_t , a gęstością brykietów ρ ($\rho > 900 \text{ kg/m}^3$), gęstość ρ stanowi również wskaźnik jakości brykietów, przydatny przy ich transporcie, składowaniu i przechowywaniu.

Literatura

1. **Hejft R.:** Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Biblioteka Problemów Eksploatacji. ITE Radom. 2002.
2. **Hejft R., Demianiuk L.:** Badanie parametrów wytrzymałościowych brykietów paszowych. Biuletyn nr1(14). OBR Pleszew. 2001, s. 39-49.

RELATION BETWEEN DENSITY AND THE STRENGTH PARAMETERS THE FOLDER BRIQUETTES

Summary: The problem presented in this paper concerns the results of the investigation of the relation between density (ρ) of the briquettes (with straw portion) and their kinetic strength (P_{dx}) shear strength (R_t) and ultimate compressive strength (R_s). The investigation revealed that the density of the briquettes (ρ) correlated with strength parameters of the briquettes P_{dx} , R_t , R_s stands for quality index of the briquettes, the knowledge of which is useful in transport and storage of them.

Marek Hryniewicz*, Paweł Gara*

BADANIA NAD TECHNOLOGIĄ UTYLIZACJI GĄBKI KADMOWEJ

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję metody zagospodarowania niebezpiecznego odpadu kadmonośnego oraz niektóre wyniki badań mających na celu opracowanie podstaw technologii jego utylizacji. Szczególną uwagę zwrócono na problem doboru odpowiedniego urządzenia do brykietowania gąbki kadmowej. Określono także kierunki dalszych prac eksperymentalnych.

1. Wprowadzenie

Jedną z operacji stosowanych w procesie produkcji cynku metodą hydroelektrometalurgiczną jest oczyszczanie roztworu siarczanu cynku przed poddaniem go elektrolizie. Powstaje wówczas niebezpieczny odpad jakim jest szlam zawierający 18-20% kadmu oraz inne metale np.: cynk, miedź, ołów, arsen, nikiel i kobalt. Szlam jest gromadzony w zbiorniku oraz zagęszczany, po czym przemywa się go wodą usuwając w ten sposób $ZnSO_4$. Następnie ługuje się go w celu przeprowadzenia do roztworu jak największej ilości kadmu. W dalszej kolejności roztwór filtruje się oraz poddaje cementacji w wyniku, której powstaje zawiesina gąbki kadmowej. Warunki w jakich prowadzona jest cementacja w znacznej mierze wpływają na własności gąbki kadmowej. W Polsce nie ma aktualnie możliwości jej zagospodarowania. Dlatego w Zakładach Górniczo-Hutniczych „Bolesław”, w których produkuje się cynk metodą hydroelektrometalurgiczną, gąbkę po odwodnieniu kieruje się na składowisko. Narastanie ilości niebezpiecznego odpadu stwarza poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Z tego powodu zespół składający się z pracowników Politechniki Śląskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej i Biura Projektów i Dostaw Urządzeń Hutniczych HpH S.A. podjął kompleksowe

* Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-59 Kraków.

badania, których celem jest opracowanie i wdrożenie technologii utylizacji gąbki kadmowej. W niniejszym artykule skoncentrowano uwagę na koncepcji metody zagospodarowania tego odpadu oraz badaniach procesów jego scalania.

2. Koncepcja metody utylizacji gąbki kadmowej

Gąbka kadmowa może być wykorzystana do produkcji czystego kadmu. Wymaga to jednak odpowiedniego jej przygotowania polegającego na odwodnieniu odpadu i scaleniu go poprzez brykietowanie. Brykiety powinny stanowić wsad pieca elektrycznego, w którym następuje ich topienie połączone z destylacją kadmu i skraplaniem jego par w kondensatorze. Zanieczyszczenia metaliczne, zawarte w gąbce, pozostają w wypalkach. Koncepcję metody utylizacji gąbki kadmowej przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Koncepcja metody utylizacji gąbki kadmowej

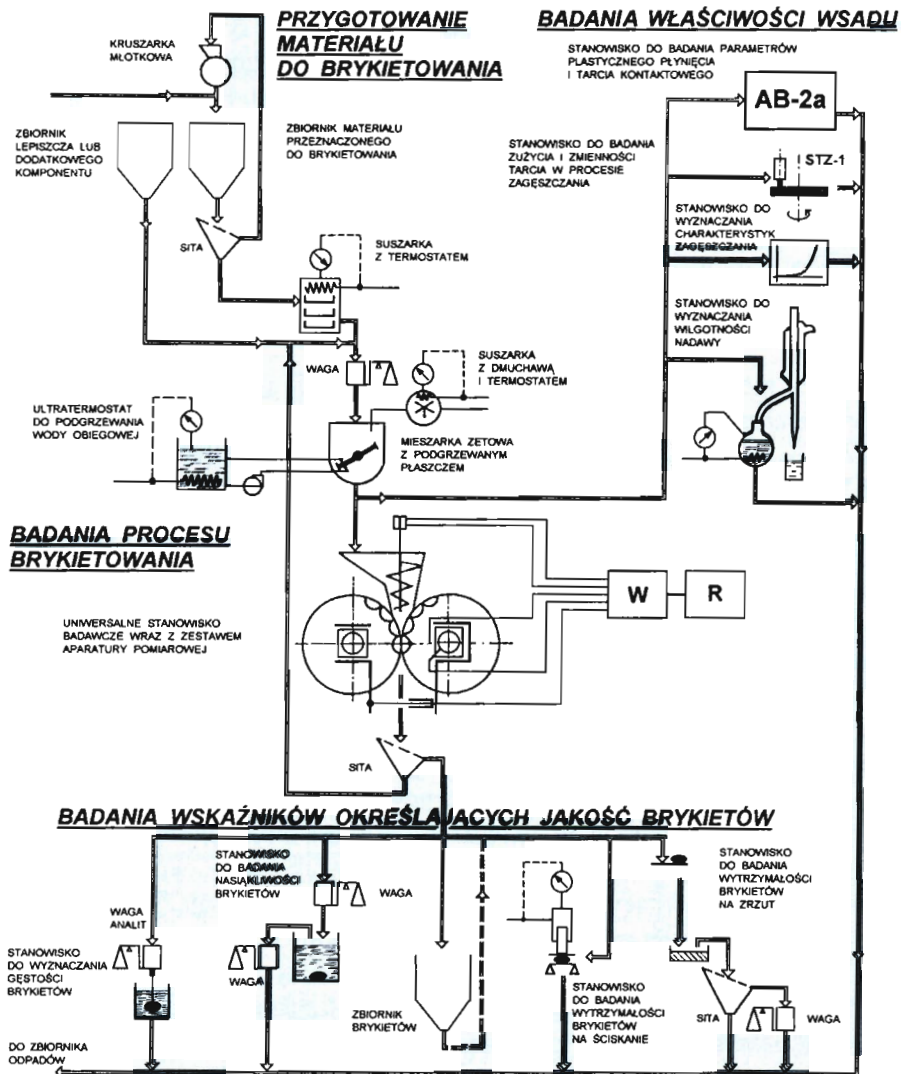
Istotnym do rozwiązania problemem w przedstawionej metodzie jest wybór odpowiedniego urządzenia do brykietowania gąbki kadmowej. Stanowią ją granule o kształcie zbliżonym do kuli i porowatej strukturze wnętrza, wypełnionej wodą. Gąbki nie można poddawać suszeniu z uwagi na jej utlenianie się. Zawarta w niej woda powinna zostać wyciśnięta podczas brykietowania, co komplikuje przebieg tego procesu. Brak doświadczeń w zakresie jednoczesnego odwadniania, zagęszczania i scalania materiałów drobnziarnistych stanowił inspirację do podjęcia w Katedrze Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska AGH stosownych badań.

3. Badania możliwości odwadniania i brykietowania gąbki kadmowej w prasie walcowej

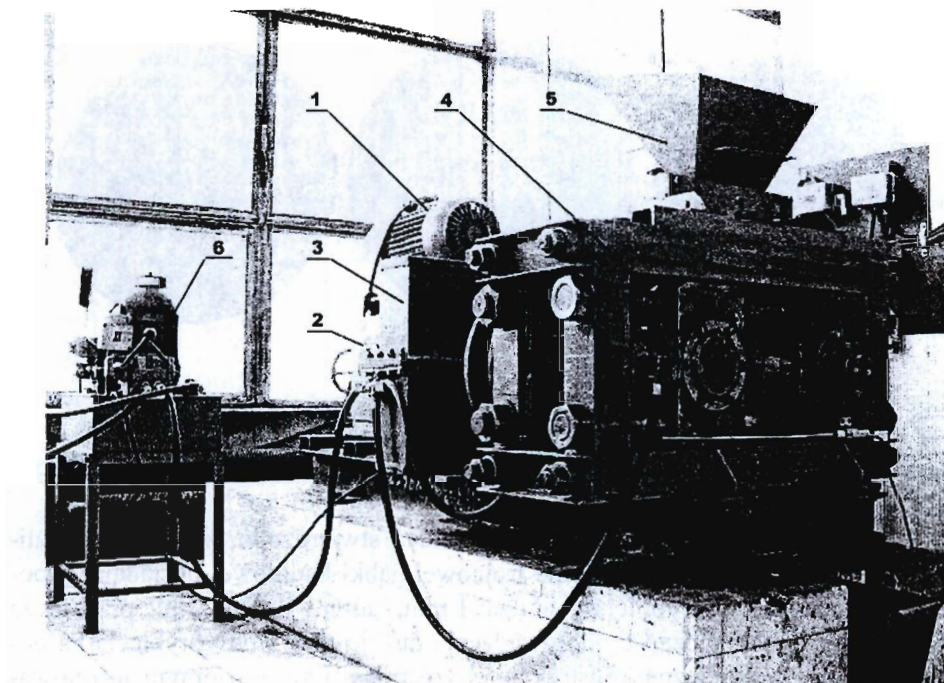
Badania możliwości odwadniania i brykietowania gąbki kadmowej w prasie walcowej realizowano przy pomocy instalacji doświadczalnej, której schemat przedstawiono na rys. 2. W skład instalacji wchodzi m.in. laboratoryjna prasa walcowa LPW 450 o średnicy walców 450 mm, której widok ogólny przedstawiono na fot. 1. Brykieciarka wyposażona jest w wymienne zasilacze i pierścienie formujące o zróżnicowanym kształcie powierzchni roboczej. Wyróżnia się 2 rodzaje kształtu powierzchni zewnętrznej pierścieni (Drzymała Z., Hryniewicz M., 2001). Pierwszy z nich jest powszechnie używany i służy do wytwarzania brykietów z płaszczyzną podziału. Drugi rodzaj kształtu powierzchni roboczej elementów formujących umożliwia wytwarzanie brykietów bez płaszczyzny podziału. W tym przypadku brykiety formowane są w korzystniejszych warunkach, pod wyższym naciskiem i w związku z tym posiadają większą wytrzymałość mechaniczną. Ponadto łatwiej opuszczają wgłębienia formujące. Na podstawie analizy własności dostarczonej do badań I partii gąbki kadmowej stwierdzono, że jest ona materiałem trudnym do brykietowania i zdecydowano się na stosowanie w laboratoryjnej prasie walcowej LPW 450 zasypu grawitacyjnego oraz takich pierścieni formujących, które umożliwiają uzyskanie brykietów bez płaszczyzny podziału.

Przeprowadzone badania dały pozytywne rezultaty. Po dwukrotnym podaniu gąbki kadmowej w strefę zagęszczania prasy otrzymano brykiety o objętości ok. $6,5 \text{ cm}^3$, gęstości $5,2+5,4 \text{ g/cm}^3$ i wysokiej wytrzymałości mechanicznej, wskazującej na właściwe odwodnienie i zagęszczenie materiału. Brykiety poddano próbie przetopu i destylacji w piecu laboratoryjnym. Dała ona zadowalające rezultaty. W tej sytuacji postanowiono kontynuować badania z zastosowaniem zasilacza

ślimakowego. Powinien on umożliwić odwadnianie i brykietowanie gąbki kadmo-
wej przy jednokrotnym jej przepływie przez układ zagęszczania prasy walcowej.

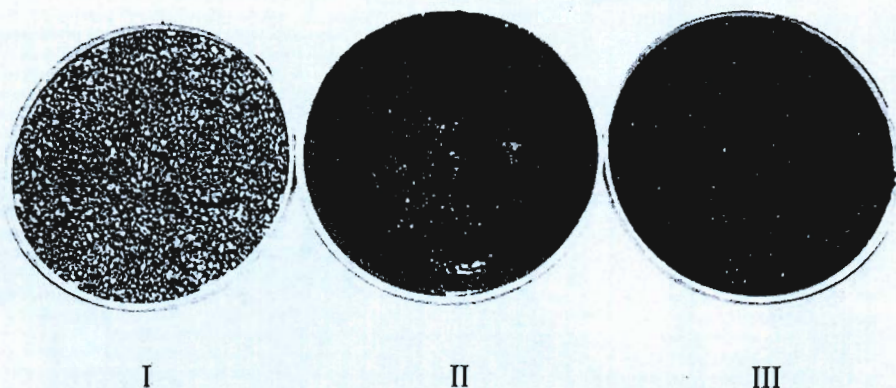


Rys. 2. Schemat instalacji doświadczalnej do badań procesu brykietowania materiałów drobnoziarnistych



Fot. 1. Widok ogólny laboratoryjnej prasy walcowej LPW 450: 1 – silnik elektryczny, 2 – przekładnia bezstopniowa, 3 – klatka walców zębatach, 4 – klatka walców formujących, 5 – zasilacz grawitacyjny, 6 – źródło hydrauliczne

Zgodnie z założeniami celem kolejnych prób miało być sprawdzenie przydatności zasilacza ślimakowego w zespole prasy walcowej do brykietowania gąbki kadmowej oraz dobór geometrycznych cech konstrukcyjnych ślimaka. Z przyczyn obiektywnych nie zrealizowano założonego programu prac eksperymentalnych. Okazało się, że właściwości II partii dostarczonego do badań odpadu kadmonośnego są zupełnie inne w porównaniu z I partią i dlatego nie nadaje się on do brykietowania w prasie walcowej. W tej sytuacji przesłano do laboratorium kolejną partię gąbki kadmowej, która także różniła się od dwóch poprzednich. Próby jej brykietowania nie dały pozytywnych rezultatów. Otrzymano brykiety o niskiej wytrzymałości mechanicznej. Mocno zróżnicowane właściwości kolejnych partii gąbki kadmowej, których próbki pokazano na fot. 2 wskazują na niestabilne warunki w jakich prowadzona jest cementacja roztworu kadmu.



Fot. 2. Próbkę kolejnych partii gąbki kadmowej

Analizując wyniki przeprowadzonych badań stwierdzono, że istnieje możliwość odwadniania i scalania w prasie walcowej gąbki kadmowej posiadającej postać granul o średnicy nie mniejszej aniżeli 1 mm, której wilgotność nie przekracza 22%. Z uwagi na konieczność odprowadzenia dużej ilości wody brykietarka powinna posiadać specyficzną konstrukcję, wyróżniającą się poziomym usytuowaniem układu zagęszczania. Koncepcję prasy walcowej służącej do odwadniania i scalania materiałów droбноziarnistych przedstawiono w opublikowanym wcześniej artykule (Drzymała Z. i inni, 2001).

Z powodu niestabilnych własności gąbki kadmowej zdecydowano się na kontynuowanie prób z zastosowaniem prasy stemplowej z matrycą zamkniętą.

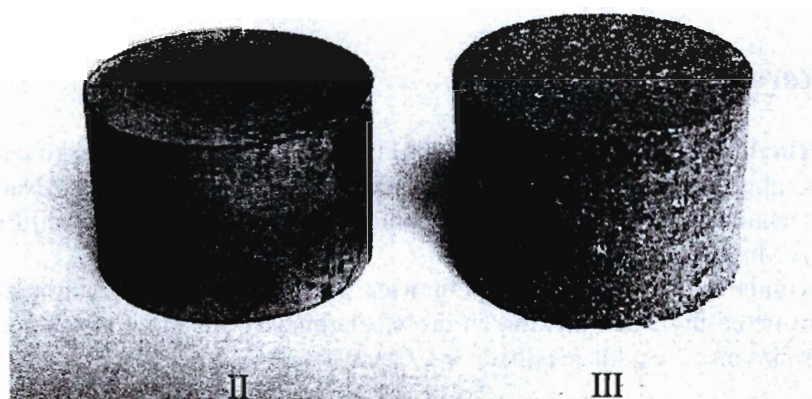
4. Badania możliwości odwadniania i brykietowania gąbki kadmowej w prasie stemplowej z matrycą zamkniętą

Brykietowaniu poddawano gąbkę kadmową z II i III partii stosując cylindryczną matrycę zamkniętą o średnicy stempla 30 mm i suwliwe pasowanie elementów układu zagęszczania. W obu przypadkach osiągnięto pozytywne efekty polegające na odwodnieniu materiału, jego zagęszczeniu i uzyskaniu trwałych kształtek, w formie walca, o wysokiej wytrzymałości mechanicznej. Wybrane wyniki badań przedstawiono w tabeli 1. Analizując je zwrócono uwagę na to, że przy zachowaniu stałej wartości nacisku jednostkowego oraz takiej samej masy zagęszczanego materiału, objętość i wynikająca z niej gęstość brykietów zależy od tego

z jakiej partii gąbki zostały one wytworzone. Brykiety z dwóch różnych partii gąbki kadmowej pokazano na fot. 3.

Tab. 1. Niektóre wyniki badań procesu brykietowania gąbki kadmowej w prasie stemplowej z matrycą zamkniętą

Partia materiału	Wartość nacisku jednostkowego [MPa]	Masa brykietu [g]	Objętość brykietu [cm ³]	Gęstość brykietu [g/cm ³]
II	120	65	12,5	5,2
III	120	65	13,8	4,7



Fot. 3. Brykiety wytworzone w matrycy zamkniętej z II i III partii gąbki kadmowej

Wyniki badań dowiodły, że w przypadku niestabilnych własności gąbki kadmowej właściwym urządzeniem do jej odwadniania i scalania jest prasa stemplowa z matrycą zamkniętą. Z własnych doświadczeń wynika, że korzystne będzie stosowanie zagęszczania wibracyjnego, gdyż pozwoli ono na lepsze odwodnienie materiału i osiągnięcie wyższej gęstości brykietów.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że w procesie brykietowania można odwadniać i scalać gąbkę kadmową. Pozostał do rozwiązania problem doboru właściwego urządzenia. Realizując prace eksperymentalne stwierdzono, że kolejne partie gąbki kadmowej posiadały zróżnicowane własności. Jeżeli zostaną zach-

wane określone warunki cementacji roztworu kadmu, tak aby gąbka posiadała własności zbliżone do tych, które wykazywała I partia materiału to korzystne będzie stosowanie do jej scalania prasy walcowej. W przeciwnym wypadku proces brykietowania trzeba będzie realizować w wibracyjnej prasie stemplowej. Niezależnie od wyboru urządzenia niezbędne jest kontynuowanie badań. W pierwszym przypadku ich celem powinno być opracowanie założeń do konstrukcji prasy walcowej z poziomym układem zagęszczania. Natomiast jeżeli proces brykietowania będzie prowadzony w prasie stemplowej to prace eksperymentalne powinny służyć określeniu zakresu niezbędnych zmian w konstrukcji istniejącej prasy wibracyjnej (Drzymała Z., Hryniewicz M., 2001), przeznaczonej przede wszystkim do brykietowania wiórów ze stopów miedzi.

Literatura

1. **Drzymała Z., Hryniewicz M.:** (2001): Rozwój badań nad doskonaleniem konstrukcji urządzeń do utylizacji odpadów produkcyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Nauki Techniczne Nr 139, seria : Budowa i Eksploatacja Maszyn, Vol. 65, s. 607-612
2. **Drzymała Z., Hryniewicz M., Janewicz A.:** (2001): Badania nad opracowaniem metod utylizacji niektórych drobnodziarnistych odpadów metalonośnych. Sbornik sem. „Recyklace odpadů V”, Ostrava, 209-216

RESEARCH INTO SPONGE CADMIUM UTILIZATION TECHNOLOGY

Abstract: This paper presents the conception of the method of reuse of dangerous cadmium-bearing waste and some results of research for elaborating utilisation technology foundations. The attention was paid on selection of briquetting machine for sponge cadmium agglomeration. The paper also presents further research trends in this area.

Artykuł opracowano w ramach działalności statutowej finansowanej przez KBN, umowa nr 11.11.130.173.

Janusz Jakóbiec*

OCENA EKSPLOATACYJNA OLEJU SMAROWEGO DO SILNIKÓW ZASILANYCH GAZEM PROPAN–BUTAN

Streszczenie: W referacie omówiono problem jakości oleju smarowego i wymagań, oraz jego warunki pracy w silnikach zasilanych gazem propan–butan. Zamieszczono wyniki kompleksowych badań oleju silnikowego PETRO–OIL SG SAE 15W/40 tj. testy laboratoryjne, badania stanowiskowe i eksploatacyjne w zakresie oceny użytkowej.

1. Wprowadzenie

Problem jakości olejów silnikowych jest zagadnieniem dotyczącym zarówno producentów silników, wytwórców środków smarowych i dodatków uszlachetniających te produkty, jak i ogromnej grupy użytkowników środków transportowych [9]. Olej silnikowy stanowi integralny element konstrukcyjny silnika spalinowego. Wymagania stawiane współczesnym olejom silnikowym wynikają z funkcji, jakie te oleje powinny spełniać dla zagwarantowania prawidłowej pracy silników starej generacji i bieżącej produkcji. Od jego jakości tj. zdolności smarowania, chłodzenia, uszczelnienia, przeciwdziałania w tworzeniu się osadów, zapobieganiu korozji i zużyciu elementów silnika zależy jego sprawność i trwałość.

Jakość oleju silnikowego może być określona za pomocą szeregu testów, które obejmują zarówno laboratoryjną ocenę właściwości fizykochemicznych jak również ocenę użytkową w okresie eksploatacji.

Bardzo ważnym zagadnieniem dotyczącym poprawnej pracy silnika jest właściwy dobór oleju smarowego. Dobór ten powinien być oparty o badania eksploatacyjne, zalecenia producenta i stosowanie do używanego rodzaju paliwa. Zastosowanie odpowiedniego gatunku oleju smarowego do silnika należy rozpatrywać w dwóch aspektach [2]:

* Zakład Badań Trakcyjnych, Instytut Technologii Nafty, ul. Łukasiewicza 1, 31–429 Kraków

- pod względem jakości; zależnie od konstrukcji silnika, stopnia jego nowoczesności, wysilenia, obciążeń cieplnych oraz jakości stosowanego paliwa;
- pod względem lepkości; zależnie od obrotów i przewidywanych obciążeń cieplnych silnika, stanu technicznego oraz strefy klimatycznej użytkownika, szczególnego znaczenia nabiera rodzaj bazy olejowej i jakości dodatków uszlachetniających;

W praktyce bywa tak, że do tego samego silnika pracującego na różnym paliwie i w zmiennych obciążeniach cieplnych oraz warunkach klimatycznych wymaga się stosowania olejów krańcowo różnych pod względem jakości i lepkości. Toteż niezależnie od generalnego kryterium doboru oleju smarowego, którego dokonują producenci silników każdy użytkownik ma możliwość dokonania właściwej korekty, zależnie od faktycznego stanu technicznego silnika i jego parametrów roboczych.

2. Warunki pracy oleju smarowego w silnikach zasilanych gazem propan–butan

Zastosowanie paliw gazowych w tym propano–butanu do silników spalinyowych powoduje zmianę warunków pracy w komorze spalania. Zachodzi zatem konieczność zastosowania takiego oleju silnikowego, który zapewni optymalne smarowanie, uwzględniając specyfikę spalania zarówno gazu LPG, jak i benzyny.

Olej smarowy przeznaczony do smarowania silników zasilanych gazem LPG wymaga nowej formuły, co jest szczególnie trudne w przypadku stosowania dwupaliwowego systemu zasilania paliwem: benzyna–gaz LPG [1, 3].

Oleje smarowe do silników o zapłonie iskrowym zasilanych gazem LPG wymagają zastosowania oleju bazowego o wysokiej odporności na działanie produktów procesów utleniania i nitrowania oraz utrzymujących w zawieszeniu prekursorów osadów. Główną przyczyną degradacji oleju smarowego w silnikach zasilanych paliwem gazowym LPG są procesy utleniania, powodowane wysokimi temperaturami pracy silnika na zubożonej mieszance gazowo–powietrznej. Prowadzi to do szybkiego utleniania składnika węglowodorowego oleju smarowego, co przenosi się na wzrost lepkości kinematycznej oleju.

Olej silnikowy PETRO–OIL GAS SG SAE 15W/40 posiada specjalnie dobraną formułę, opartą na starannie dobranej bazie olejowej, uszlachetnionej nowoczesnym pakietem dodatków jakościowych tak, aby olej spełniał zmieniony profil

wymagań, szczególnie w zakresie odporności na utlenianie, właściwości myjąco-dyspergujących oraz właściwości przeciwkorozyjnych [4].

Główną przyczyną degradacji oleju smarowego w silnikach zasilanych paliwem gazowym LPG są procesy utleniania powodowane wysokimi temperaturami pracy silnika na zubożonej mieszance gazowo-powietrznej. Prowadzi to do szybkiego utleniania składnika węglowodorowego oleju smarowego, co przenosi się na wzrost lepkości kinematycznej oleju. Wieloletnie doświadczenie Instytutu Technologii Nafty w Krakowie w zakresie badań olejów smarowych, w tym dla silników zasilanych gazem LPG pozwalają na stwierdzenie, że określone parametry pracy silnika wywołują specyficzne zmiany jego właściwości fizykochemicznych w okresie eksploatacji [5, 6, 7, 8]. Czynniki, które powodują zmianę właściwości fizykochemicznych oleju w silniku podczas eksploatacji samochodu są:

- wysoka temperatura komór spalania i górnej strefy pierścieni tłokowych, zwłaszcza przy spalaniu gazu LPG;
- duże obciążenie silnika;
- przedmuchy gazów do komory spalania;
- niskie temperatury otoczenia (eksploatacja w warunkach zimowych);
- częsta praca silnika w warunkach jazdy miejskiej

3. Badania eksploatacyjne oleju silnikowego PETRO-OIL GAS SG SAE 15W/40

Przedmiotowy olej silnikowy poddano następującym badaniom:

- etap I obejmował testy laboratoryjne wymagane dla kategorii jakości SG i klasy lepkości SAE 15W/40
- etap II obejmował testy na stanowisku silnikowym, pozwalającym ocenić poziom właściwości użytkowych przy zasilaniu silnika gazem LPG
- etap III obejmował badania eksploatacyjne dla pełniejszej weryfikacji właściwości użytkowych oleju

Badania eksploatacyjne stanowią jeden z ostatnich etapów oceny właściwości użytkowych oleju silnikowego PETRO-OIL GAS SG SAE 15W/40 przeznaczonego do smarowania silników o zapłonie iskrowym zasilanych LPG. Badania przeprowadzono w Instytucie Technologii Nafty w Krakowie w warunkach intensywnej eksploatacji samochodów z uwzględnieniem warunków klimatycznych możliwych w kraju [4]. Podstawowe właściwości fizykochemiczne oleju silnikowego

wego klasy SG SAE 15W/40 (świeżego) wytypowanego do badań eksploatacyjnych przedstawiono w tabl. 1.

Tab. 1. Podstawowe właściwości fizykochemiczne oleju silnikowego PETRO-OIL GAS SG SAE 15W/40

Lp.	Badane właściwości	Jedn. miary	Wynik badania
1	Lepkość kinematyczna:	mm ² /s	
	– w temp. 40°C		117,3
	– w temp. 100°C		15,3
2	Wskaźnik lepkości	–	137
3	Odporność na ścinanie: lepkość w temp. 100°C	mm ² /s	13,8
4	Lepkość strukturalna CCS w temp. –15°C	mPas	3100
5	Lepkość dynamiczna MRV w temp. –25°C	mPas	23800
6	Lepkość HTHS	mPas	3,91
7	Temperatura płynięcia	°C	– 27
8	Liczba zasadowa	mg KOH/g	8,92
9	Zawartość pierwiastków z pakietu jakościowego:	ppm	
	– wapń		750
	– magnez		670
	– cynk		1350
	– fosfor		1150
10	Liczba kwasowa	mg KOH/g	2,65
11	Odparowalność wg Noacka	% (m/m)	12,6
12	Odporność na pienienie:	ml	
	– skłonność do pienienia w temp. 24/94/24 po 94°C		0/0/0
	– trwałość w temp. 24/94/24 po 94°C		0/0/0
13	Odporność na pienienie w wysokich temperaturach:	ml	
	– skłonność do pienienia w temp. 150°C		10
	– trwałość piany w temp. 150°C		0

Badania obejmowały dwie próby eksploatacyjne tj. 30 i 20 tys. km i prowadzone były w warunkach letnich i zimowych. W ramach badań eksploatacyjnych dokonano oceny w zakresie:

- zmian właściwości fizykochemicznych oleju;
- stopnia zanieczyszczenia elementów silnika
- stopnia zużycia silnika

Wyniki badań laboratoryjnych oleju silnikowego PETRO-OIL SG SAE 15W/40 w zakresie zmian właściwości fizykochemicznych w okresie eksploatacji przedstawiono w tabl. 2 [4].

Ocena eksploatacyjna oleju smarowego do silników zasilanych gazem propan-butan

Tab. 2. Właściwości fizyko-chemiczne oleju silnikowego PETRO-OIL SG SAE 15W/40 będącego w eksploatacji i obejmującego przebieg 30 i 20 tys. km samochodu marki POLONEZ-CARO GLI

Lp.	Badana właściwość	Jedn.	Przedziały eksploatacyjne [km]							
			próba I – letnia				próba II – zimowa			
			10 tys.	15 tys.	20 tys.	25 tys.	30 tys.	10 tys.	20 tys.	
1	Lepkość kinematyczna – w temp. 100°C – w temp. 40°C	mm ² /s	13,3 103,3	13,2 102,8	13,8 114,7	14,0 115,9	14,2 119,0	13,4 101,2	13,3 102,0	
2	Liczba kwasowa	mg KOH/g	4,30	5,30	5,67	6,02	6,55	3,30	5,70	
3	Liczba zasadowa	mg KOH/g	7,41	5,51	4,76	3,96	3,75	7,26	4,91	
4	Zawartość osadów nierozpuszczalnych w pentanie: – strącalne – całkowite	% (m/m)	0,0040 0,4022	0,0084 0,6218	0,0096 0,7516	0,0187 0,9390	0,0279 0,9984	0,0042 0,4116	0,0155 0,7833	
5	Wskaźnik dyspersji	–	0,9900	0,9865	0,9832	0,9801	0,9720	0,9898	0,9801	
6	Zawartość pierwiastków z pakietu jakościowego: – wapń – magnez – cynk – fosfor	ppm	865 763 1450 1180	815 720 1440 1120	890 760 1480 1110	890 730 1420 1110	880 750 1450 1120	800 698 1300 1130	860 730 1380 1180	
7	Zawartość pierwiastków: – bor – ołów – żelazo – molibden – chrom – cyna – krzem – wanad – glin – tytan – miedź – srebro – nikiel	ppm	< 0,1 12 37 < 0,1 7 5 5 < 0,5 5 < 0,5 15 < 0,1 2	< 0,1 18 42 < 0,1 5 4 7 < 0,5 9 < 0,5 19 < 0,1 2	< 0,1 23 58 < 0,1 3 3 10 < 0,5 6 < 0,5 24 < 0,1 1	< 0,1 30 75 < 0,1 5 6 12 < 0,5 8 < 0,5 30 < 0,1 3	< 0,1 37 91 < 0,1 8 6 15 < 0,5 9 < 0,5 36 < 0,1 4	< 0,1 9 15 < 0,1 4 4 3 < 0,5 3 < 0,5 12 < 0,1 2	< 0,1 14 22 < 0,1 5 5 8 < 0,5 6 < 0,5 18 < 0,1 3	

3.1. Określenie zawartości pierwiastków metali w oleju silnikowym w okresie eksploatacji samochodów

Obecność pierwiastków **metali** pochodzących ze zużycia elementów silnika smarowanego olejem klasy SG SAE 15W/40 określono metodą spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie ICP AES wg metody ASTM D5185. Opierając się na kryteriach ustalonych przez czołowych producentów silników [10] należy zauważyć, że poziom pierwiastków metali (Pb, Fe, Cu, Cr, Ni) w oleju smarowym w całym okresie eksploatacji nie przekraczał wartości granicznych, co świadczy o dobrych właściwościach przeciwzużyciowych oleju smarowego. Uzyskane wyniki pomiarów zawartości pierwiastków metali w oleju smarowym z określonych przedziałów eksploatacyjnych zamieszczono w tab. 2.

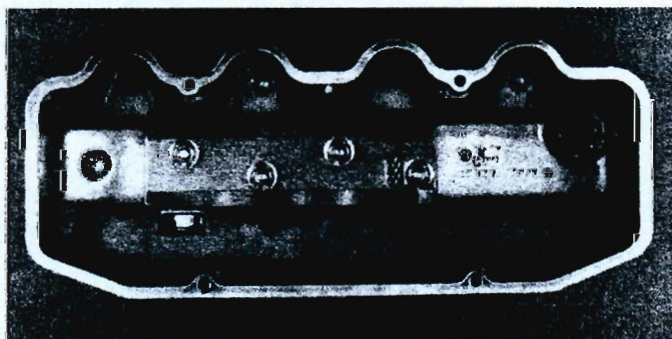
3.2 Ocena punktowa zanieczyszczenia elementów silnika osadami w okresie eksploatacji samochodu

*** Głowica silnika i jej pokrywa**

Każdy rodzaj degradacji jakości oleju silnikowego w okresie eksploatacji samochodu prowadzi do wzrostu zanieczyszczeń elementów silnika, a to do obniżenia jego sprawności lub uszkodzenia. Głowicę silnika samochodu marki POŁONEZ-CARO GLI i jej pokrywę po przebiegu eksploatacyjnym 30 tys. km objęto oceną punktową wg PN-79/C-04173. Ocena 10-ciu punktów jest oceną maksymalną, świadczącą o braku zanieczyszczeń, zaś 0 dowodzi o maksymalnym zanieczyszczeniu (czarny lak). Ocena kształtowała się na wysokim poziomie i wynosiła:

- dla głowicy silnika średnio 9,95 [pkt.]
- dla pokrywy 9,85 [pkt.],

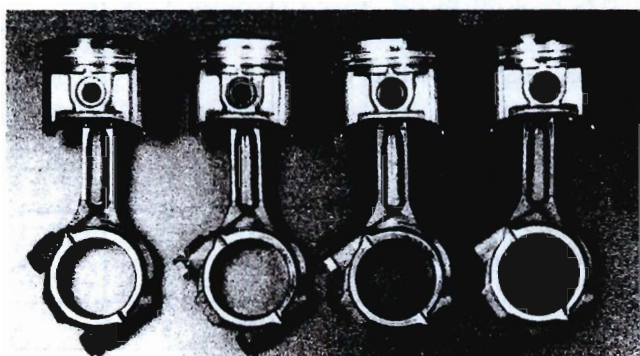
natomiast stopień zanieczyszczenia zarejestrowano na fot. 1.



Fot. 1. Widok wnętrza pokrywy głowicy silnika samochodu marki POŁONEZ-CARO GLI po przebiegu eksploatacyjnym 30 tys. km

*** Zewnętrzne i wewnętrzne powierzchnie płaszczy tłoków**

Ocenę stopnia zanieczyszczenia zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni płaszczy tłoków silnika typ CE samochodów marki POLONEZ-CARO GLI przeprowadzono po przebiegu eksploatacyjnym 50 tys. km w oparciu o PN-73/C-04158. Zanieczyszczenia oceniano wzrokowo posługując się skalą barwną 10-cio punktową, w której 10-ciu punktom odpowiada zupełnie czysta powierzchnia tłoka, natomiast 0 – powierzchnia całkowicie pokryta czarnym lakiem. Za wynik końcowy przyjęto średnią arytmetyczną wyników stopnia zanieczyszczenia otrzymanych dla zewnętrznych powierzchni płaszczy wszystkich tłoków. Średnia ocena arytmetyczna zanieczyszczenia zewnętrznych powierzchni płaszczy z czterech tłoków silnika typ CE kształtowała się na wysokim poziomie i wynosiła 9,57 [pkt.]. W podobny sposób dokonano oceny zanieczyszczenia powierzchni wewnętrznych tłoków, których ocena kształtowała się na poziomie 8,37 [pkt.]. Wyniki oceny zamieszczono w tabl. 3, natomiast ogólny widok tłoków przedstawiono na fot. 2.



Fot. 2. Ogólny widok piasty i korony tłoków silnika typ CE samochodu marki POLONEZ-CARO GLI po przebiegu eksploatacyjnym 50 tys. km

Tab. 3. Ocena stopnia zanieczyszczenia zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni płaszczy tłoków silnika typ CE (wersja wtryskowa) samochodu marki POLONEZ-CARO GLI po przebiegu eksploatacyjnym 50 tys. km

Badany olej silnikowy	Typ i numer fabryczny silnika	Numer kolejny tłoka	Ocena w punktach	
			powierzchnie zewnętrzne	powierzchnie wewnętrzne
SG SAE 15W/40	CE0472624 (wersja wtryskowa)	1	9,8	8,5
		2	9,5	8,5
		3	9,5	8,5
		4	9,5	8,0
		Średnia ocena	9,57	8,37

*** Ocena stopnia unieruchomienia pierścieni tłokowych**

Ocenę stopnia unieruchomienia pierścieni tłokowych przeprowadzono po przebiegu 50 tys. km oddzielnie dla pierścieni uszczelniających i zgarniających po zdemontowaniu silnika w oparciu o PN-73/C-04158. Za ocenę ostateczną przyjęto średnią arytmetyczną oceny stopnia unieruchomienia wszystkich pierścieni uszczelniających i oddzielnie dla zgarniających. Ocena ta kształtowała się na wysokim poziomie osiągając 10 pkt. Wyniki oceny zamieszczono w tabl. 4.

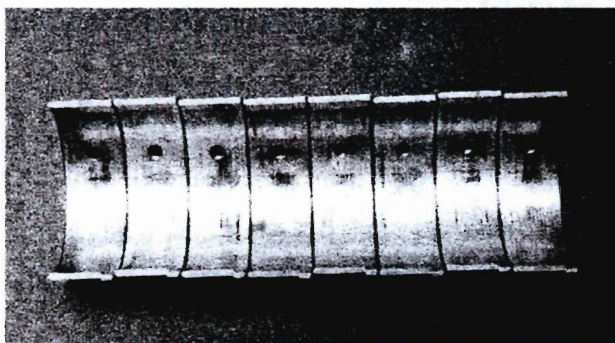
Tab. 4. Ocena stopnia unieruchomienia pierścieni tłokowych silnika typ CE (wersja wtryskowa) samochodu marki POLONEZ-CARO GLI po przebiegu eksploatacyjnym 50 tys. km

Nr tłoka	Nazwa pierścieni tłokowych	Swo- bodny	Oporny	Zakleszczony na obwodzie, stopie	Zapieczony na obwodzie, stopie	Ocena w punk- tach
1	– uszczelniający – uszczelniająco-zgarniający – zgarniający	tak	–	–	–	10
2	– uszczelniający – uszczelniająco-zgarniający – zgarniający	tak	–	–	–	10
3	– uszczelniający – uszczelniająco-zgarniający – zgarniający	tak	–	–	–	10
4	– uszczelniający – uszczelniająco-zgarniający – zgarniający	tak	–	–	–	10
Średnia ocena stopnia unieruchomienia pierścieni tłokowych:						10

4. Stan techniczny silnika typ CE po przebiegu eksploatacyjnym 50 tys. km

Stan techniczny silników samochodów napędzanych gazem LPG uczestniczących w badaniach eksploatacyjnych oleju silnikowego klasy SG SAE 15W/40 po przebiegu 50 tys. km określono w oparciu o pomiary mikrometryczne elementów silnika (przed i po przebiegu eksploatacyjnym), oraz monitoring zanieczyszczeń oleju smarowego pierwiastkami metali pochodzącymi ze zużycia elementów silnika. Pomiary przeprowadzono przy użyciu mikrometrów zewnętrznych „DIGIMATIC” MDC–M serii 193 japońskiej firmy Mitutoyo zapewniające dokładny i szybki odczyt wyświetlonych wyników pomiaru z rozdzielczością do 1 [µm] zgodnie z In-

strukcją Techniczną Nr 06/BT/ITN. Stan techniczny wybranych elementów silnika po przebiegu 50 tys. km zarejestrowano na fot. 3.



Fot. 3. Widok panewek głównych łożyskowania czopów wału korbowego silnika typ CE samochodu marki POLONEZ-CARO GLI po przebiegu eksploatacyjnym 50 tys. km

5. Podsumowanie

Jakość oleju mineralnego, PETRO-OIL GAS SG SAE 15W/40 została potwierdzona przez akredytowane Laboratorium Zakładu Oceny Własności Eksploatacyjnych Produktów Naftowych ITN w testach stanowiskowych na silniku zasilanym LPG. Ocenę eksploatacyjną oleju przeprowadzono w Zakładzie Badań Trakcyjnych ITN. Badania te obejmowały próby eksploatacyjne 30 i 20 tys. km i prowadzone były w warunkach letnich i zimowych, pozwalających na wnikliwą ocenę zmian własności fizykochemicznych oleju oraz zanieczyszczeń osadami i zużycia elementów silnika.

6. Wnioski

1. Olej silnikowy mineralny klasy SG SAE 15W/40 podczas badań trakcyjnych 30 tys. km i 20 tys. km obejmujących warunki letnie i zimowe uzyskał ocenę pozytywną:
- w całym zakresie przebiegu eksploatacyjnego tj. 30 i 20 tys. kilometrów zachował dobrą zdolność dyspergowania osadów i szlamów. Świadczy o tym wysoki wskaźnik dyspersji oleju oraz czystość elementów składowych silnika;

- olej smarowy do przebiegu eksploatacyjnego 30 tys. kilometrów utrzymał odporność na utlenianie, co wynika z niewielkiego przyrostu liczby kwasowej (do poziomu akceptowalnego);
 - praca oleju w silniku nie naruszyła jego stanu technicznego do przebiegu eksploatacyjnego 50 tys. km;
2. Przeprowadzone badania eksploatacyjne oleju silnikowego klasy SG SAE 15W/40 upoważniają do stwierdzenia o jego gwarantowanej przydatności użytkowej do przebiegu 30 tys. km w pełnym zakresie właściwości użytkowych.

Literatura

1. **Chłobowski K., Urzędowska W.:** Olej silnikowy do samochodowych silników zasilanych gazem propan-butan; Konferencja Naukowo-Techniczna: LPG paliwo dla motoryzacji; Ustroń 1998.
2. **Jakóbiec J.:** Zmiana właściwości użytkowych olejów silnikowych w warunkach eksploatacji; Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji Nr 83/2001.
3. **Jakóbiec J., Marchut A., Cęckiewicz S.:** Wybrane właściwości oleju silnikowego w przypadku zasilania paliwem LPG; Nafta Gaz Nr 6/1997.
4. **Jakóbiec J., Urzędowska W., Wysopal G.:** Sprawdzenie technologii oleju silnikowego SG SAE 15W/40 w badaniach eksploatacyjnych (zasilanie silnika LPG); Dokumentacja ITN Nr 3330/2001.
5. **Jakóbiec J., Urzędowska W., Chłobowski K., Łenyk M.:** Badania eksploatacyjne półsyntetycznego oleju silnikowego LOTOS SEMISYNTETIC SG/CD SAE 10W/40 w samochodach marki POLONEZ-CARO; Dokumentacja ITN Nr 2762/95.
6. **Jakóbiec J., Urzędowska W., Wysopal G.:** Badania eksploatacyjne niskopopiołowego półsyntetycznego oleju silnikowego Aquila for Gas SG SAE 15W/40 w samochodach marki POLONEZ-CARO zasilanych gazem LPG; Dokumentacja ITN Nr 3075/98.
7. **Jakóbiec J., Urzędowska W., Wysopal G.:** Badania właściwości użytkowych oleju silnikowego Helius Gas SG/CD SAE 15W/40 do silników zasilanych gazem propan-butan; Dokumentacja ITN Nr 3179/99.
8. **Jakóbiec J., Urzędowska W., Wysopal G.:** Badania eksploatacyjne olejów silnikowych klasy SJ/CF SAE 15W/40 i SJ/CF SAE 10W/40 w samochodach marki POLONEZ-CARO zasilanych gazem LPG; Dokumentacja ITN Nr 3401/98.

9. **Oleksiak S.:** Zasady oceny i klasyfikacja jakościowa olejów silnikowych w Europie; Biuletyn ITN Nr 2/1997.
10. **Zareh A.:** An overview of industrial gas engines and their lubrication; Lubrication Engineering – November 1996.

POTENTIAL EVALUATION OF OIL IN LPG ENGINES

Abstract: The paper analyses the quality of oil and requirements as well as working conditions in LPG engines. It also contains the results of complex tests of PETRO–OIL SG SAE 15W/40 e.g. laboratory, bench and field tests concerning its practical application.

Janusz Jakóbiec *

RECYKLING I UTYLIZACJA PRZEPACOWANYCH OLEJÓW SMAROWYCH SAMOCHODOWYCH W POLSCE

Streszczenie: W referacie omówiono zagadnienia ekologiczne wpływające na działalność przemysłu motoryzacyjnego i rafineryjnego. Przedstawiono narzędzie do oceny analitycznej potencjalnych zasobów olejów przepracowanych dla motoryzacji oraz regulacje prawne w zakresie gospodarowania tymi odpadami w kraju i w Unii Europejskiej. Przedstawiono czynniki kształtujące potencjalne zasoby olejów przepracowanych w kraju tj. poziom technologiczny, stan liczebny parku samochodów i maszyn, oraz jakość stosowanych środków smarowych.

1. Wprowadzenie

Ochrona środowiska naturalnego jest jednym z najważniejszych zadań przed jakimi stanął człowiek u progu XXI wieku. Zagadnienia ekologiczne wywierają coraz większy wpływ na działalność przemysłu motoryzacyjnego i rafineryjnego. Dynamiczny rozwój motoryzacji w Polsce wymusza dostarczenie na rynek coraz większej ilości paliw, olejów smarowych i płynów eksploatacyjnych. Do niedawna wskaźnik zużycia produktów naftowych na mieszkańca kraju w opinii wielu specjalistów był synonimem dobrobytu [2].

Oleje smarujące spełniają bardzo ważną rolę w pracy układów funkcjonalnych jednostek napędowych pojazdów i ciągników, głównie zmniejszając ich tarcie i zużycie. Ze względu na różnorodność warunków w jakich pracują, posiadają odmienne właściwości, które otrzymują w procesie wytwarzania. Ze względów ekonomicznych i ekologicznych dąży się w konstrukcji i eksploatacji do zmniejszenia ilości zużywanych środków smarujących.

* Zakład Badań Trakcyjnych, Instytut Technologii Nafty, ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków

Wprowadzenie nowoczesnych dodatków uszlachetniających do olejów smarowych, zwłaszcza silnikowych (bogatych w dodatki uszlachetniające) oraz komponentów syntetycznych spowodowało dalszy spadek zużycia tych produktów.

Udział grup asortymentowych środków smarowych w kraju na najbliższe lata zmierza do modelu europejskiego stanowiącego [8]:

- 50% udziału olejów smarowych dla motoryzacji
- 50% udziału olejów smarowych dla przemysłu

W oparciu o dane szacunkowe udział podstawowych grup asortymentowych w Polsce w 2000 roku kształtuje się następująco [3]:

- oleje smarowe dla motoryzacji 59%
- oleje smarowe dla przemysłu 41%

W okresie eksploatacji olej, tracąc swoje właściwości użytkowe ulega zestarzeniu i konieczna jest jego wymiana [4]. Oleje, które utraciły swoje właściwości użytkowe nazywamy olejami przepracowanymi lub jako odpad poużytkowy.

Szczególnym zagrożeniem dla środowiska naturalnego jest niekontrolowane pozbywanie się odpadowych olejów smarowych.

Oleje przepracowane zawierają wiele związków zagrażających środowisku naturalnemu. Badania laboratoryjne olejów smarowych przepracowanych przeprowadzone w Instytucie Technologii Nafty w Krakowie wykazały podwyższoną aktywność kancerogenną [4]. W olejach tych znajduje się szereg związków chloru i fosforu oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) i benzo(a)pirenu B(a)P powodujących zaburzenia układu ochronnego i choroby nowotworowe.

Problem olejów przepracowanych powinien znaleźć właściwe miejsce w polityce gospodarczej każdego państwa. Problematyka zagospodarowania tego odpadu ma również aspekt ekonomiczny. Zastosowanie recyklingu pozwala na odzyskanie 600÷700 kg wartościowego smarującego oleju bazowego z 1000 kg oleju przepracowanego. Natomiast w procesie przeróbki z 1000 kg ropy naftowej uzyskuje się zaledwie 100÷150 kg olejów smarowych. Z porównania tego wynika, że 1 tona oleju smarującego zastępuje około 5÷6 ton ropy naftowej. Podsumowując całość zagadnienia należy podkreślić, że niezbędne jest szybkie opracowanie spójnego, kompleksowego programu działania obejmującego zarówno akty prawne i wykonawcze, oraz organizację i dobór technologii przetwarzania.

2. Regulacje prawne w zakresie gospodarowania olejami smarowymi przetworzonymi w krajach Unii Europejskiej i w Polsce

Podstawowym dokumentem regulującym gospodarkę olejami przetworzonymi (odpadowymi) w krajach Unii Europejskiej jest Dyrektywa Rady Nr 75/439/EWG z dnia 16 czerwca 1975 r., znowelizowana przez Dyrektywę Rady Nr 87/101/EWG z dnia 22 grudnia 1986 r. Na podstawie tych przepisów poszczególne kraje członkowskie wspólnoty wprowadzają wewnętrzne uregulowania prawne dotyczące organizacji i finansowania zbiórki, a także zagospodarowania i unieszkodliwiania olejów przetworzonych, zgodnie z zasadami ekologii. Zgodnie z interpretacją CONCAWE (organizacja firm europejskich pt. CONservation of Clean Air and Water in Europe) **definicja olejów przetworzonych, zawarta w Dyrektywie brzmi:** „oleje odpadowe rozumiane są jako oleje smarowe lub oleje przemysłowe, które utraciły zdolność zastosowania w sposób do którego były pierwotnie przeznaczone i które nie są przyporządkowane puli odpadów pochodzących z rafinerii ropy”. Taka interpretacja daje wyraźne rozgraniczenie pomiędzy odpadami pochodzenia poeksploatacyjnego, a odpadami pochodzenia poprodukcyjnego. Dyrektywa Rady Nr 91/689/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. wraz z uzupełnieniem Nr 94/31/EC z dnia 27 czerwca 1994 r. wprowadziła definicję odpadów niebezpiecznych jako:

- 1) odpadów wyspecyfikowanych na specjalnej liście, (Decyzja Rady Nr 94/904/EC z dnia 22.12.1994) lub
- 2) odpadów wytypowanych przez kraje członkowskie jako substancji posiadających niebezpieczne właściwości, wyszczególnione w Aneksie III Dyrektywy.

W świetle tych przepisów, **oleje odpadowe zostały zakwalifikowane jako odpady niebezpieczne, ze względu na fakt wyspecyfikowania ich na specjalnej liście, niezależnie od tego, czy zostaną im przypisane właściwości niebezpieczne, wyszczególnione w Aneksie III.**

Zgodnie z założeniami Dyrektywy, niebezpieczne odpady muszą być odrębnie traktowane w stosunku do innych odpadów, w zakresie ewidencji, zbiórki i dalszego nimi dysponowania.

Nowa ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 roku (Dz. U. Nr 62, poz. 628) definiuje oleje odpadowe, bazując na definicji stosowanej w krajach Unii Europejskiej:

...” oleje odpadowe – rozumie się przez to wszystkie oleje smarowe lub przemysłowe, a w szczególności zużyte oleje z silników spalinowych i oleje przekładniowe, a także oleje smarowe, oleje do turbin i oleje hydrauliczne” (...)

Doprecyzowanie tego pojęcia, uwzględniające obowiązującą polską Klasyfikację Wyrobów i Usług, zostało zawarte w Ustawie z dnia 11 maja 2001 r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej, w której jako oleje odpadowe/oleje przepracowane przyjęto odpad poużytkowy z olejów smarowych – PKWiU – 23.20.18 (z wyłączeniem 23.20.18–01, 23.20.18–09.10).

Powyższe doprecyzowanie jest bardzo istotne, ponieważ określa konkretne rodzaje olejów odpadowych jako odpadów powstałych w wyniku użytkowania konkretnych rodzajów (wyszczególnionych poniżej) olejów smarowych objętych PKWiU i umożliwia szacowanie ilości tego odpadu, które należy zebrać i zagospodarować.

PKWiU	Rodzaj olejów smarowych
23.20.18–02	Oleje silnikowe
23.20.18–03	Oleje lotnicze do silników odrzutowych
23.20.18–04	Oleje wielofunkcyjne
23.20.18–05	Oleje do przekładni
23.20.18–06	Oleje do urządzeń hydraulicznych (różnych klas)
23.20.18–07	Oleje przemysłowe
23.20.18–08	Oleje elektroizolacyjne
23.20.18–09	Nie sklasyfikowane gdzie indziej

Definicję pojęcia „oleje przepracowane” podaje krajowa norma PN–C–96050 „Oleje przepracowane”. Brzmi ona następująco:

„Oleje przepracowane są to oleje pochodzenia naftowego lub estrowego, które w czasie stosowania utraciły swoje właściwości użytkowe i nie mogą być dłużej stosowane w zakresie, do którego były pierwotnie przeznaczone”.

W cytowanej normie PN–C–96050 rozróżnia się trzy rodzaje olejów przepracowanych:

- I. oleje elektroizolacyjne, oleje do sprężarek chłodniczych
- II. oleje turbinowe
- III. pozostałe oleje smarowe, z wyjątkiem olejów emulgujących i natłuszczanych

Klasyfikacją obejmującą „oleje odpadowe” jest Polska Klasyfikacja Wyrobów i Usług, przyjęta na wzór stosowanej w Unii Europejskiej Klasyfikacji Działalności i zastępująca Systematyczny Wykaz Wyrobów, zwany potocznie SWW. Dla uzyskania spójności tej pozycji z podziałem olejów przepracowanych na grupy

zgodnie z normą PN-C-96050, klasyfikację według PKWiU rozszerzono w sposób następujący:

- 23.20.18-09.1 Oleje odpadowe – przetworzone
- 23.20.18-09.11 Oleje odpadowe – przetworzone, w tym elektroizolacyjne i sprężarkowe
- 23.20.18-09.12 Oleje odpadowe – przetworzone, turbinowe
- 23.20.18-09.13 Oleje odpadowe – pozostałe (z wyjątkiem emulgujących i natłuszczających).

W oparciu o cytowane zapisy do oszacowania potencjalnych zasobów olejów przetworzonych należy przyjąć następującą definicję olejów odpadowych, która w poprawnym sformułowaniu technicznym powinna brzmieć: ***”Oleje przetworzone są to oleje smarowe: silnikowe, przemysłowe i specjalne, które w czasie stosowania utraciły swoje właściwości użytkowe i nie mogą być dłużej stosowane w zakresie, do którego były pierwotnie przeznaczone”***, czyli praktycznie zbieżną z definicją olejów odpadowych zawartą w ustawie o odpadach oraz **o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz opłacie produktowej i opłacie depozytowej** z dnia 11 maja 2001 roku (Dz. U. Nr 63, poz. 639 i klasyfikacji PKWiU).

Natomiast zarówno dotychczasowe Rozporządzenie Ministra Środowiska (Dz. U. Nr 62, poz. 628 z dnia 27 kwietnia 2001 r.) jak i nowe (Dz. U. Nr 112, poz. 1206 z dnia 27 września 2001 r.) w **sprawie katalogu odpadów z wyodrębnieniem odpadów niebezpiecznych oraz sposobu klasyfikowania odpadów** wprowadzają do klasy **Oleje odpadowe** różne grupy i rodzaje odpadów, nie mieszczące się w definicji olejów odpadowych rozumianych jako oleje przetworzone i nie posiadających odpowiednika wyrobu objętego wyżej wspomnianą klasyfikacją PKWiU.

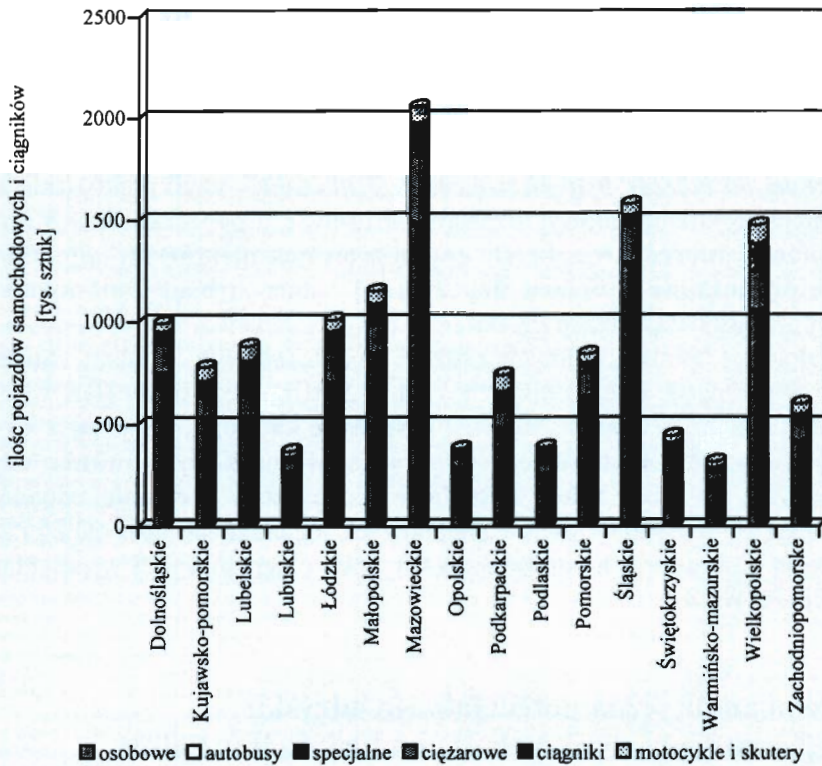
3. Ocena analityczna potencjalnego odzysku olejów przetworzonych dla motoryzacji w Polsce

Zasoby olejów przetworzonych (odpadowych) motoryzacyjnych w kraju kształtuje poziom technologiczny i stan liczebny parku samochodów oraz jakość stosowanych środków smarowych.

W pracy wykorzystano doświadczenie i wiedzę Instytutu Technologii Nafty z zakresu gospodarowania olejami przetworzonymi (odpadowymi) w kraju. W grupie

olejów motoryzacyjnych, potencjalny możliwy odzysk jako odpad poużytkowy obliczono w oparciu o znajomość struktury i liczebność parku samochodowego.

W Polsce generalnie brak jest systematycznych danych charakteryzujących strukturę pojazdów poruszających się po krajowych drogach. Dane opublikowane przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) obejmują ogólną liczbę zarejestrowanych pojazdów w Polsce i w poszczególnych województwach z podziałem na grupy i typy pojazdów – rys. 1 w oparciu o coroczne sprawozdania określone przepisami o danych dla potrzeb statystyki [5].



Rys. 1. Struktura ilościowa pojazdów samochodowych i ciągników w roku 2000 w układzie administracyjnym kraju

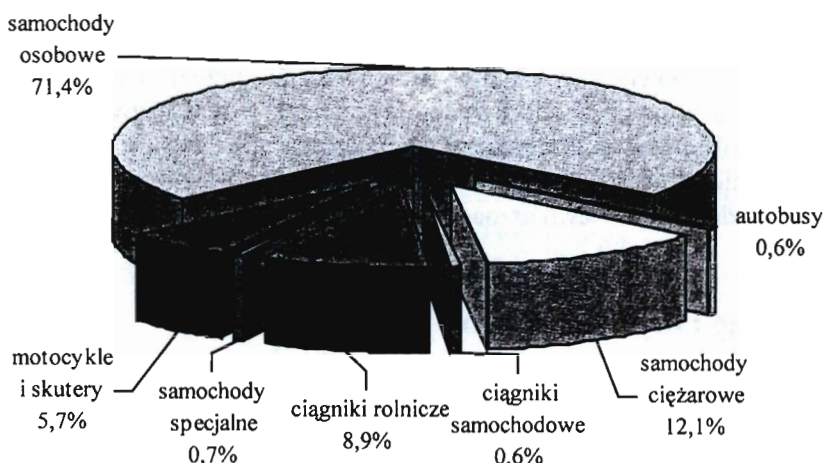
W pracy wykorzystano również wiedzę specjalistyczną z zakresu budowy i konstrukcji silników spalinowych oraz bieżącą znajomość rynku samochodowego w kraju w oparciu o informacje zamieszczone w czasopismach motoryzacyjnych (Auto Świat, Motor, Gazeta Transportowa, Auto Giełda) oraz informacjach firmy

Samar. Zmiany struktury parku pojazdów samochodowych i ciągników w Polsce w ciągu ostatnich pięciu lat zestawiono w tabl. 1 [8, 9]. W latach 1990+2000 w krajowym rejestrze przybyło około 5 mln pojazdów. W strukturze zarejestrowanych w Polsce pojazdów dominują samochody osobowe stanowiące przeszło 71% wszystkich zarejestrowanych na koniec 2000 roku pojazdów (rys. 2).

Tab. 1. Struktura pojazdów samochodowych i ciągników w Polsce w latach 1996+2000

Typ pojazdu	Przedział czasowy				
	1996	1997	1998	1999	2000
Samochody osobowe	8.054.448	8.533.449	8.890.763	9.282.816	9.991.260
Samochody ciężarowe	1.370.897	1.421.492	1.484.575	1.597.874	1.783.008
Motocykle i skutery	875.663	842.358	819.902	804.461	802.618
Autobusy	85.325	81.541	80.591	78.717	82.356
Samochody specjalne	90.880	91.517	94.243	94.969	97.787
Ciągniki samochodowe	61.343	66.857	78.239	85.013	97.348
Ciągniki rolnicze	1.226.845	1.246.289	1.259.958	1.224.089	1.230.364
Razem	11.765.401	12.283.503	12.710.269	13.169.938	14.106.078

Dane: GUS



Rys. 2. Struktura pojazdów samochodowych i ciągników według rodzajów w 2000 roku

W rozważaniach analitycznych wzięto pod uwagę średnią pojemność układu smarowania silników i skrzyń biegów w poszczególnych grupach samochodów oraz średnie roczne przebiegi eksploatacyjne, kolejne wymiany oleju w eksploata-

cji w ciągu roku, straty wynikłe ze spalania w trakcie pracy silnika (dwusuwowego), wycieki z układu smarowania, pozostałość w obszarach „gradziowych” misy olejowej i filtra oleju jak również objętość dolewek środka smarującego do silnika.

Wskaźnik teoretycznego możliwego odzysku olejów przepracowanych dla motoryzacji w 2000 roku w rozbiciu asortymentowym (silnikowe i przekładniowe) określono jako stosunek potencjalnego możliwego odzysku środków smarowych do ilości wprowadzonych na rynek olejów świeżych.

Potencjalny możliwy odzysk olejów silnikowych jako odpad poużytkowy obliczono na drodze analitycznej w oparciu o park samochodów i ciągników wg zależności:

$$Z = \frac{i \cdot V_{ukl} \cdot P \cdot \rho}{100 \cdot C} \quad [\text{kg}] \quad (1)$$

gdzie: i – ilość samochodów danej grupy [szt.], V_{ukl} – średnia pojemność układu smarowania danej grupy samochodów [dm^3], P – średni roczny przebieg samochodów [km], ρ – gęstość oleju silnikowego [kg/dm^3], C – czasookres wymiany oleju silnikowego [km]

Do obliczeń przyjęto średnią gęstość oleju silnikowego świeżego na poziomie $0,88 \text{ [kg}/\text{dm}^3]$ według PN-90/C-04004 [6]. Podobny tok postępowania przyjęto dla olejów przekładniowych.

Największy potencjalny możliwy odzysk olejów przepracowanych (odpadowych) motoryzacyjnych zarejestrowano w czterech województwach: mazowieckim, wielkopolskim, śląskim i małopolskim. Szczegółowe wyniki oceny analitycznej autor zamieścił w pracy wykonanej na zlecenie Ministerstwa Środowiska (praca chroniona do użytku wewnętrznego) [3].

4. Recykling i utylizacja olejów przepracowanych

Znaczna część olejów przepracowanych motoryzacyjnych podlega regeneracji, zaś pozostała jest utylizowana. Do podstawowych metod utylizacji olejów przepracowanych należy zaliczyć [3]:

- spalanie z odzyskiem energii cieplnej;
- wykorzystanie jako dodatków w procesach technologicznych;
- likwidacja przez wtłaczanie w głębokie odwierty technologiczne;
- składowanie w sztolniach;
- biodegradacja w glebach lub specjalnych urządzeniach.

Najkorzystniejszą metodą likwidacji olejów przetworzonych (odpadowych) jest ich wykorzystanie do celów grzewczych po wstępnym oddzieleniu wody i osadów. Produkty te mają bowiem wysoką wartość opałową dochodzącą do 40 MJ/kg.

Spalanie olejów przeprowadza się różnymi sposobami jak:

- spalanie w urządzeniach grzewczych;
- spalanie w spalarniach odpadów komunalnych;
- dolewanie oleju do węgla w paleniskach kotłowych;
- spalanie w elektrociepłowniach i ciepłowniach;
- spalanie w piecach cementowych.

Niekontrolowane spalanie olejów przetworzonych prowadzi do powstawania całej gamy związków organicznych, tlenków węgla, azotu, siarki, które reagując ze składnikami powietrza atmosferycznego tworzą produkty groźne dla otoczenia. Badania składu spalin z podgrzewacza zasilanego przetworzonym olejem silnikowym porównano ze składem spalin z silnika samochodu Fiat 126, którego wynik przedstawiono w tabl. 2.

Tab. 2. Porównanie składu spalin z różnych urządzeń energetycznych zasilanych różnym paliwem

Parametry	Jednostka miary	Rodzaj urządzenia	
		Silnik FIAT 126 A	Podgrzewacz
Rodzaj paliwa		etylina 94	przetworzony olej silnikowy
Zużycie paliwa	kg/h	4,0	4,0
Skład spalin:			
CO	% obj.	0,8	0,1
CO ₂	% obj.	6,9	11,5
N _x O _y	% obj.	1300	70
HCl	ppm	1150	30+40

Podczas spalania olejów przetworzonych powstają również odpady kokso-wo-żużlowe, o dużej zawartości metali ciężkich. Spalanie jest ekonomicznie uzasadnione pod warunkiem ciągłości dostawy i niskich kosztów transportu. Najkorzystniejsze jest spalanie bezpośrednio w dużych przedsiębiorstwach transportowych lub punktach wymiany oleju. Warunkiem spalania olejów przetworzonych są określone jego właściwości:

- zawartość PCB poniżej 50 ppm;
- zawartość arsenu poniżej 5 ppm;
- zawartość kadmu poniżej 2 ppm;
- zawartość chromu poniżej 10 ppm;
- zawartość ołowiu poniżej 100 ppm.

Pewną formę utylizacji olejów przepracowanych jest biodegradacja przy wykorzystaniu preparatów bakteryjnych. Bakterie te są zdolne do rozkładu węglodorów, wykorzystując je jako pokarm. Stosowanie powyższej technologii jest szczególnie popularne i skuteczne przy usuwaniu skutków katastrof ekologicznych. Przepracowane oleje smarujące mogą być również składowane w starych stolniach lub zamkniętych zbiornikach skalnych, pod warunkiem zachowania szczelności.

Tab. 3. Charakterystyka spalin z pieca AT 400 spalającego oleje silnikowe świeże i przepracowane

Właściwości	Jednostka miary	Olej SN 650	Olej Aquila	Olej przepracowany I	Olej przepracowany II
Uzysk koksu-żuźła	% wsadu	0,18	1,02	1,84	2,32
Pozostałość po spopieleniu	%	3,5	72,4	32,0	64,1
Zawartość pierwiastków	mg/kg				
Pb		14,5	51,2	1327	4000
Zn		1710	24149	6260	67517
Mg		16,1	420	2305	3355
Fe		3989	1044	10231	78679
Mo		< 2	3,8	80,8	242
Cr		6,8	3,0	191	960
Sn		< 4	< 3,5	158,9	169
V		24,9	198	3387	173
Al.		60,3	151	893	591
Ca		1065	67990	42695	75450
Cd		0,8	2,6	12,0	19,3
Ti		45,2	33,1	105	116
Cu		27,0	11,5	996	5510
Ag		< 1	< 1	< 0,5	< 10
Ni		2,4	2,5	155	450
Ba		6,7	6,7	79,8	67,4
As		22,1	27,9	2,1	21,6
F		1197	4764	16334	55888
Si		1765	1042	11844	4484

5. Wnioski

1. Przewidywane członkostwo w Unii Europejskiej jak i rozwiązania prawne w zakresie gospodarki odpadami użytkowymi stanowią priorytetowy aspekt ekologiczny w którym problemy ewidencji zasobów i utylizacji olejów odpadowych powinny być ściśle kontrolowane
2. Zasoby olejów przetworzonych (odpadowych) w kraju kształtuje poziom technologiczny i stan liczebny parku samochodów oraz jakość stosowanych środków smarowych
3. Lepszy monitoring i dokładniejsza ewidencja obrotu zarówno świeżymi olejami smarowymi motoryzacyjnymi jak i powstałym odpadem użytkowym pozwoli na doskonalenie metod szacowania olejów przetworzonych możliwych do odzyskania
4. Próba oszacowania zasobów olejów odpadowych przetworzonych możliwych do odzyskania, w skali kraju określa rangę i znaczenie problemów związanych z tym niebezpiecznym odpadem. Natomiast określenie alokacji tego odpadu w poszczególnych województwach pozwoli ocenić i zdefiniować zadania dla systemów jego zbiórki
5. Biorąc pod uwagę, że Polska jest importerem ropy naftowej i gazu ziemnego celowe jest podkreślenie obowiązku racjonalnego gospodarowania tymi surowcami, oraz stworzenie kompleksowego systemu w zakresie ich zbiórki i przetwarzania.

Literatura

1. **Bocheński C.:** Kompleksowy program zagospodarowania produktów odpadowych wytworzonych podczas eksploatacji środków transportu; SIERPC 2001.
2. **Fabio dalla Giovanni:** Perspektywy przemysłu rafineryjnego: Paliwa Płynne 5/2001.
3. **Jakóbiec J., Wysopal G., Cygan R.:** Ustalenie wielkości i zasobów olejów odpadowych możliwych do wykorzystania na drodze ich przemysłowego wykorzystania; Dokumentacja ITN Nr 3359/2001 dla Ministerstwa Środowisk.
4. **Jakóbiec J., Wysopal G.:** Recykling olejów smarowych przetworzonych a ekologia, Inżynieria i Ochrona Środowiska ISSN Nr 3+4, Politechnika Częstochowska 1999.
5. **Jakóbiec J.:** Zmiana właściwości użytkowych olejów silnikowych w warunkach eksploatacji; Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji Nr 83/2001.

6. Ochrona środowiska 1998; wyd. GUS – Warszawa.
7. PN-90/C-04004: Ropa naftowa i przetwory naftowe – oznaczanie gęstości.
8. **Steinmec F., Chłobowski K., Bednarski A., Dettlof R.:** Ocena kierunku zmian jakościowych olejów smarowych oraz baz olejowych na rynku polskim w porównaniu do tendencji światowych w tym zakresie w perspektywie do roku 2020; Dokumentacja ITN Nr 3360/2000.
9. Transport – wyniki działalności w 1999 roku; wyd. GUS – Warszawa 2000.
10. Transport – wyniki działalności w 2000 roku; wyd. GUS – Warszawa 2001.
11. **Waśkiewicz J.:** Park samochodowy w Polsce na przełomie 1999+2000; Praca ITS Nr 6108/ZBN – Warszawa 2001

RECYCLING AND UTILIZATION OF VEHICLE OIL USED IN POLAND

Abstract: The paper discusses ecological factors influencing motor and refinery industry. It also presents a way to set potential oil resources used for motor industry in 2001 and legal requirements concerning utilization of the waste products in Poland and EU. Factors influencing potential oil resources in Poland are technological level, the number of vehicles and the quality of oil.

Andrzej Janewicz*

ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW ZASILACZA ZBIEŻNOKANAŁOWEGO NA JAKOŚĆ BRYKIETÓW OTRZYMANYCH W PRASIE WALCOWEJ

Streszczenie: W artykule zwrócono uwagę na złożoność procesu brykietowania w zespole prasa walcowa - zasilacz zbieżnokanałowy. Określono zbiór czynników mających decydujący wpływ na jakość produktu otrzymywanego w tym układzie. Na jego podstawie powstał jakościowy model matematyczny obiektu badań. Przedstawiono w formie graficznej na wykresach, a następnie dokonano oceny wpływu czynników niezależnych na wskaźniki jakości brykietów.

1. Wprowadzenie

Zasilacz zbieżnokanałowy jest podzespołem prasy walcowej współpracującym z nią w procesie zbrylania (brykietowanie, kompaktowanie, granulacja) materiałów droбноziarnistych w celu uzyskania produktu o żądanym kształcie, właściwościach i wskaźnikach jakości. W układzie tym do zadań zasilacza zbieżnokanałowego należy:

- równomierne i ciągłe podawanie nadawy w strefę zagęszczania prasy walcowej,
- regulacja ilości materiału podawanego między walce prasy,
- wstępne zagęszczanie nadawy w zbieżnych kanałach.

Ideę podawania wsadu do prasy walcowej poprzez zbieżne kanały przedstawiono m.in. w [2,7], a zagadnienie kształtowania geometrii tych kanałów w pracach [2,3,4]. W niniejszym artykule skoncentrowano natomiast uwagę na wybranych wynikach badań laboratoryjnych wpływu parametrów zasilacza zbieżnokanałowego na wskaźniki jakości brykietów.

* Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Aleja Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

2. Badania laboratoryjne procesu brykietowania w układzie zasilacz zbieżnokanałowy - prasa walcowa

2.1. Jakościowy model obiektu badań

Obiektem badań jest laboratoryjna brykietarka walcowa LPW-450 wyposażona w zasilacz zbieżnokanałowy oraz realizowany w niej proces brykietowania wybranego ośrodka drobnoziarnistego. Na końcowy efekt tej współpracy, tzn. brykiety o żądanych właściwościach, mają wpływ następujące czynniki [2]:

- właściwości fizykochemiczne i fizykomechaniczne nadawy,
- zespół geometrycznych cech konstrukcyjnych prasy walcowej,
- zespół geometrycznych cech konstrukcyjnych zasilacza zbieżno-kanałowego,
- parametry procesu brykietowania rozważanego układu.

Wybór materiału do badań oraz sposób jego przygotowania do brykietowania pod kątem tworzenia trwałej struktury brykiety przeprowadzono na podstawie wcześniejszych prób laboratoryjnych, redukując tym samym ilość parametrów mających bezpośredni wpływ na badany obiekt.

Zespół geometrycznych cech konstrukcyjnych prasy oraz niektóre parametry procesu brykietowania zostały wstępnie określone w momencie przyjęcia prasy LPW-450. Na ustalonym poziomie przyjęto np. szczelinę między walcami ($a = 1 \text{ mm}$) – parametr charakteryzujący proces brykietowania w prasie walcowej, czy rodzaj wgłębień formujących („siodło”).

Geometryczne cechy konstrukcyjne zasilacza zbieżnokanałowego określono w fazie jego projektowania na podstawie analizy zagadnień związanych z przepływem nadawy w zbiornikach wysypowych [6] oraz kinetyką nadawy w pobliżu pierścieni formujących prasy walcowej [1]. Niektóre z nich przyjęły wartości stałe, jak np. wymiary otworu wylotowego zasypu czy kąt określający położenie wkładu kształtowego w zbiorniku, inne można było regulować w określonym zakresie (np. kąt pochylenia powierzchni roboczej elementu zagęszczającego względem powierzchni formującej walca czy amplituda przemieszczeń elementu zagęszczającego w ruchu drgającym) [2,4]. Przeprowadzona analiza parametrów [2] pozwoliła wytypować czynniki niezależne, mające decydujący wpływ na rozpatrywane zagadnienie. Pozostałe parametry przyjęto jako stałe. Uzyskany tą drogą jakościowy model matematyczny obiektu badań przedstawiają poniższe zależności:

$$K = f(S_w; H_k; v; s; \omega) \quad (1)$$

$$\rho = f(S_w; H_k; v; s; \omega) \quad (2)$$

gdzie: S_w – stopień wstępnego zagęszczenia w kanale, H_k – wysokość szczeliny wlotowej do kanału, v – prędkość obwodowa walców, s – amplituda przemieszczeń wkładu kształtowego w ruchu drgającym, ω – częstość kątowna wymuszenia ruchu drgającego wkładu kształtowego, K – wytrzymałość brykietów na zrzut, ρ – gęstość brykietów.

Stosując reguły analizy wymiarowej, liczbę czynników decyzyjnych ograniczono do trzech bezwymiarowych argumentów (niezmienników bezwymiarowych) otrzymując w ten sposób następującą postać jakościowego modelu matematycznego obiektu badań:

$$K = f(S_w; Fr; \frac{a}{g}) \quad (3)$$

$$\rho = f(S_w; Fr; \frac{a}{g}) \quad (4)$$

gdzie: S_w – stopień wstępnego zagęszczenia w kanale, $Fr = \frac{v^2}{H_k \cdot g}$ – liczba Froude'a,

$\frac{a}{g} = \frac{s \cdot \omega^2}{g}$ – stosunek amplitudy przyspieszeń drgań wymuszonych wkładu kształtowego do przyspieszenia ziemskiego, g – przyspieszenie ziemskie.

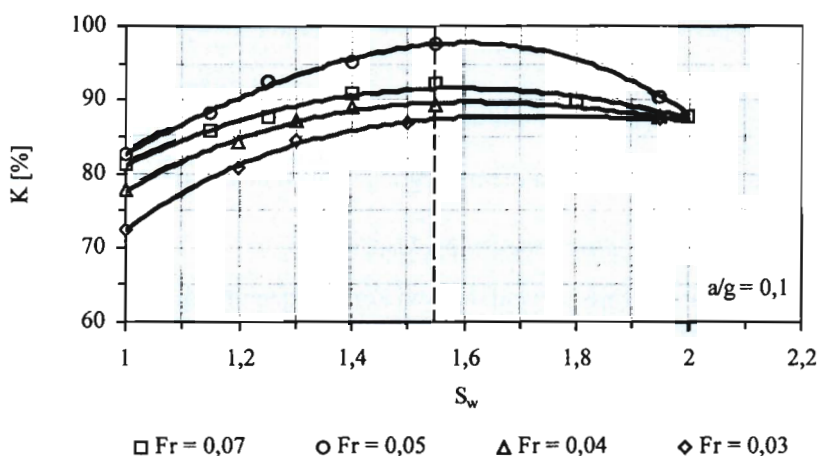
2.2. Badania doświadczalne procesu brykietowania

Badania laboratoryjne prowadzono wykorzystując urządzenia uniwersalnej instalacji do brykietowania materiałów drobnoziarnistych [1]. Modelowym materiałem był odpadowy fluorek wapnia (CaF_2) z dodatkiem tlenku wapnia (CaO). Odpadowy fluorek wapnia pochodził z KZPN „Bonarka” w Krakowie, a tlenek wapnia, stanowiący odpad z odpylników, dostarczono z Huty im.T.Sendzimira. Otrzymane w procesie scalania brykiety miały kształt „siodła” i objętość około $6,5 \text{ cm}^3$. Ich gęstość wyznaczano metodą hydrostatycznego ważenia w wodzie, natomiast wytrzymałość na zrzut określano na podstawie trzykrotnego zrzutu brykietów z wysokości 1,8 metra na stalową płytę.

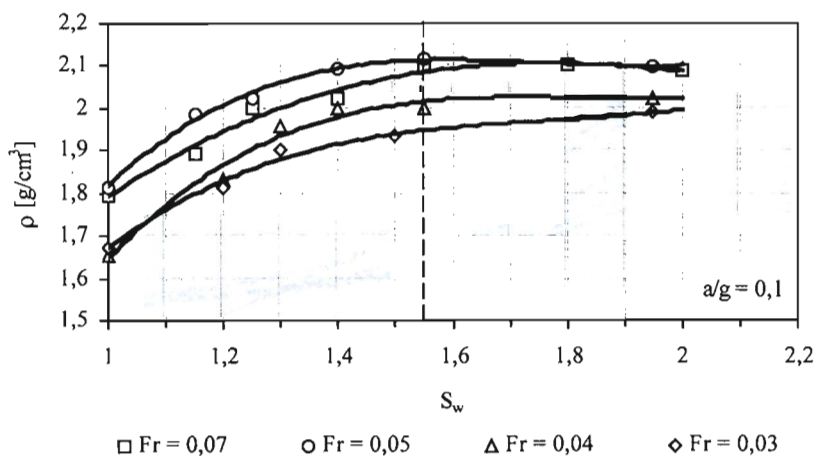
2.3. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań potwierdziły wpływ poszczególnych czynników niezależnych na wskaźniki jakości brykietów. Wykresy na rys. 1 i rys. 2 przedstawiają zależność tych wskaźników od stopnia wstępnego zagęszczenia nadawy w zbieżnych kanałach. Ze wzrostem zagęszczenia rośnie zarówno wytrzymałość brykietów na zrzut,

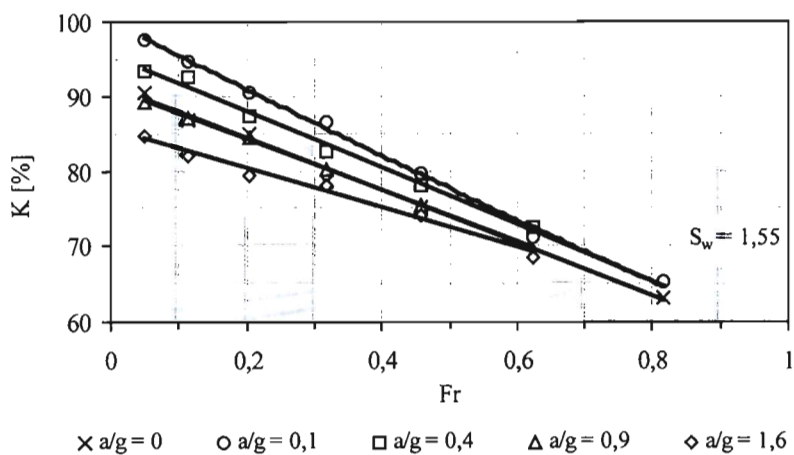
jak i ich gęstość. Przy poziomie wstępnego zagęszczenia nadawy $S_w = 1,55$ zaobserwowano jednak zmianę warunków procesu. Przekroczenie dopuszczalnych nacisków we wgłębieniach formujących spowodowało wzajemne odsunięcie się walców, a tym samym przyrost szczeliny między nimi. Wiązało się to z wyraźnym obniżeniem wytrzymałości brykietów. Zmianę tę wyznacza linia kreskowa na rys. 1 i rys. 2. Rys. 3 i rys. 4 to graficzna prezentacja wpływu liczby Froude'a na wskaźniki jakości brykietów. Natężenie przepływu nadawy w zbieżnych kanałach jest stosunkowo małe (prędkość obwodowa walców $v = 0,1 \pm 0,4 \text{ m/s}$), a charakter tego przepływu jest spokojny ($Fr < 1$). Jednak ze wzrostem wartości liczby Froude'a przewaga sił bezwładności nad siłami grawitacji powoduje mniej uporządkowany przepływ materiału i zaburzenia wstępnego zagęszczania w kanałach. Efektem tego jest zdecydowany spadek wartości obu wskaźników jakości brykietów. Jest to zgodne z charakterem procesu scalania materiałów ziarnistych w prasach walcowych wyposażonych w grawitacyjny układ zasilania.



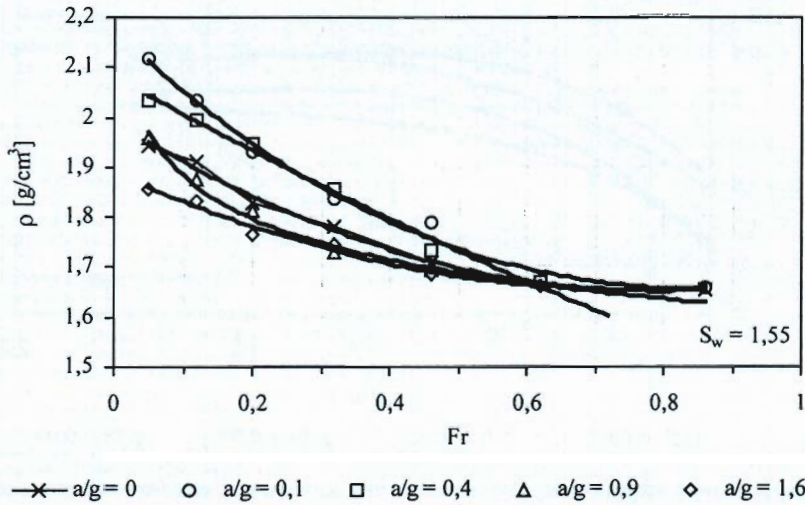
Rys. 1. Wpływ stopnia wstępnego zagęszczenia S_w w kanale zasilacza zbieżnokanałowego na wytrzymałość brykietów na zrzut



Rys. 2. Wpływ stopnia wstępnego zagęszczenia S_w w kanale zasilacza zbieżnokanałowego na gęstość brykietów

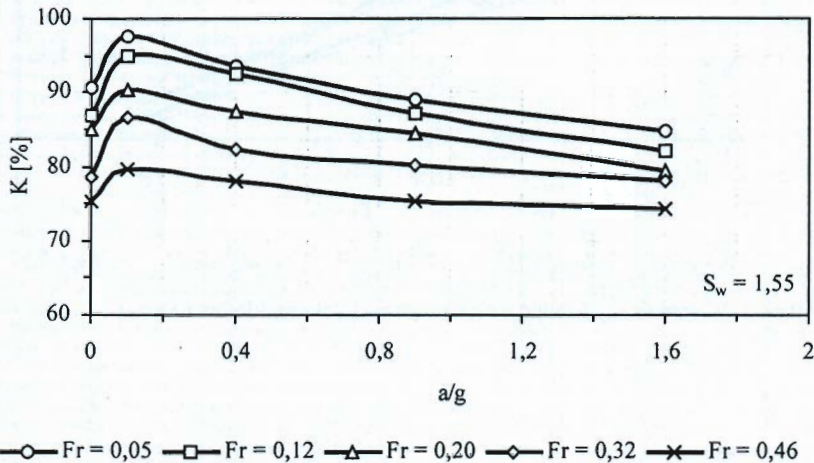


Rys. 3. Wpływ liczby Froude'a Fr na wytrzymałość brykietów na zrzut

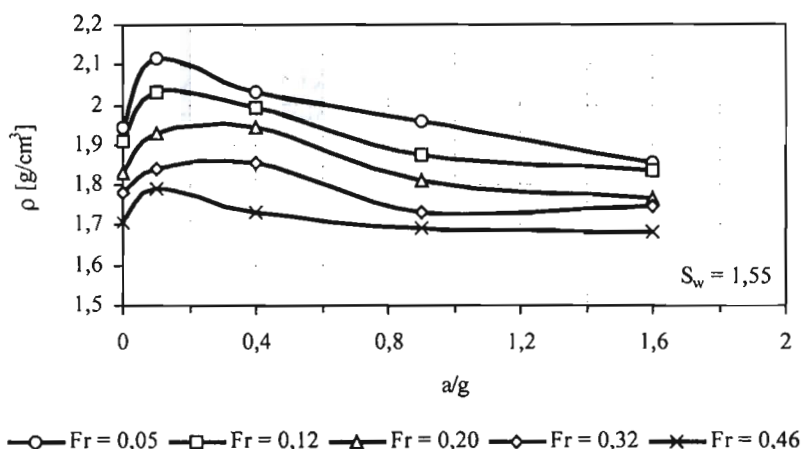


Rys. 4. Wpływ liczby Froude'a Fr na gęstość brykietów

Ze wzrostem wydajności procesu następuje z reguły pogorszenie jakości produktu. Na rys. 5 i rys. 6 przedstawiono natomiast wpływ ruchu drgającego wkładów kształtowych – wyrażonego stosunkiem amplitudy przyspieszeń drgań wymuszonych elementu kształtowego do przyspieszenia ziemskiego – na jakość brykietów.



Rys. 5. Wpływ stosunku a/g na wytrzymałość brykietów na zrzut



Rys. 6. Wpływ stosunku a/g na gęstość brykietów

Zastosowanie drgań wkładów kształtowych związane było z potrzebą zmniejszenia oporów przepływu materiału w kanałach. Opory te wynikają z tarcia nadawcy o powierzchnię wkładów kształtowych oraz boczne uszczelnienia pierścieni formujących, a także oporów zagęszczania. Z wykresów widać, że istnieje wartość stosunku a/g , dla której wskaźniki jakości brykietów osiągają wartości maksimum. Potwierdza to znany z literatury [5] fakt o znaczącym wpływie na tarcie zewnętrzne materiałów ziarnistych amplitudy przyspieszenia drgań wymuszonych „ a ” przyłożonych na powierzchni tarcia.

3. Wnioski

1. Każda z wytypowanych zmiennych niezależnych w sposób wyraźny wpływa na wskaźniki jakości brykietów otrzymanych w procesie brykietowania materiału drobnodziarnistego w zespole zasilacz zbieżnokanałowy-prasa walcowa.
2. Ze wzrostem stopnia wstępnego zagęszczenia S_w wartości gęstości i wytrzymałości brykietów na rzut rosną, a wzrostowi wartości liczby Froude'a Fr towarzyszy zdecydowany spadek jakości brykietów. Wpływ stosunku a/g , tzn. amplitudy przyspieszeń drgań wymuszonych elementu kształtowego do przyspieszenia ziemskiego, na proces brykietowania charakteryzuje wyraźne maksimum wartości wskaźników jakości brykietów.

3. Dla materiału modelowego jakim był odpadowy fluorek wapnia (CaF_2) wymierny efekt zastosowania zasilacz zbieżnokanałowego w zespole prasy walcowej to blisko 13% przyrost wytrzymałości brykietów na zrzut oraz około 10% przyrost gęstości brykietów w porównaniu z zasypem grawitacyjnym.

Literatura

1. **Hryniewicz M.:** (1997) *Metoda doboru pras walcowych oraz opracowanie założeń do ich modernizacji lub konstrukcji*. Rozprawy monograficzne, 58, wydawnictwo AGH, Kraków.
2. **Janewicz A.:** (1996) *Badania identyfikacyjne zasilacza zbieżnokanałowego do pras walcowych*. Rozprawa doktorska AGH, Kraków.
3. **Janewicz A.:** (2000) *Uproszczona metoda kształtowania kanałów zagęszczających zasilacza zbieżnokanałowego do pras walcowych*. Zeszyty Naukowe AGH, seria Mechanika, tom 19, z.2, s. 183-191.
4. **Janewicz A.:** (2000) *Kształtowanie geometrii kanałów zagęszczających zasilacza zbieżnokanałowego do pras walcowych*. Materiały Jubileuszowej X Konferencji Naukowej nt. „Problemy w Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Hutniczych i Ceramicznych”, Kraków, tom I, s. 197-204.
5. **Korzeń Z.:** (1981) *Einfluß der Schwingungen auf die Schüttgutbrückenbildung an Silo- und Bunkerauslauföffnungen*. Aufbereitungs-Technik 8, 418-423.
6. **Korzeń Z.:** (1991, 1992) *Zasady kształtowania lejów wysypowych w silosach i zbiornikach na materiały pyliste i sproszkowane*. Cement-Wapno-Gips, 12, s. 334-340, 1-2, s. 3-9.
7. **Kosturkiewicz B., Janewicz A.:** (w druku) *Problem doboru konfiguracji układu zagęszczania prasy walcowej*. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Nauki Techniczne, Budowa i Eksploatacja Maszyn.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS OF TAPERED-CHANNELS FEEDER FOR ROLL PRESSES ON BRIQUETTE QUALITY

Abstract: On the base of the gravity providing of charge to the roll-presses the tapered-channels feeder has been worked out. The influence and analysis of the dimensionless parameters S_w , Fr , a/g of the new feeder on briquette quality is presented.

Paweł Kabza*

ALGORYTM PLANOWANIA PRZEPŁYWÓW MATERIAŁOWYCH W WARUNKACH DYNAMICZNYCH OGRANICZEŃ ZASOBOWYCH

Streszczenie: Artykuł przedstawia algorytm planowania przepływu produkcji uwzględniający dynamiczne ograniczenia zasobowe systemu logistycznego związanych z systemem transportu bliskiego i magazynowania takich jak: ilość i pojemność wózków widłowych, pojemności dostępnych magazynów, odległości między magazynami.. W artykule rozważano problem syntezy podsystemu transportu wewnętrznego i magazynowania systemu przepływu produkcji, gwarantującego nieprzerwany przepływ produkcji w okresie planistycznym.

1. Wstęp

Uwarunkowania gospodarki rynkowej oraz konieczność funkcjonowania przedsiębiorstwa produkcyjnego na rynku konsumenta wymuszają oferowanie wyrobów tanich o wysokiej jakości. Ponieważ każdy z producentów może dysponować takimi samymi środkami produkcji, jak: maszyny, oprzyrządowanie, systemy transportu, oraz takimi samymi materiałami do produkcji, niedoskonałości w postaci strat i opóźnień w procesie produkcji są istotne na etapie projektowania produktu, organizacji produkcji i zarządzania [1]. Zatem konkurencyjne przedsiębiorstwo powinno tak zaplanować i zorganizować produkcję aby zminimalizować koszty a tym samym zagwarantować większą efektywność systemu jednocześnie zaspokajając potrzeby klientów. Przedsiębiorstwa produkcyjne dążą więc do reorganizacji procesów wytwarzania, koncentrując się głównie na obniżaniu kosztów produkcji oraz zwiększaniu produktywności procesów wytwarzania nie dostrzegając przy tym ograniczeń zasobowych systemu logistycznego związanych z systemem transportu bliskiego i magazynowania takich jak: ilość i pojemność wózków

* Instytut Inżynierii Produkcji i Materiałoznawstwa, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Podgórna 50, 65 – 246 Zielona Góra

widłowych, pojemności dostępnych magazynów, odległości między magazynami [4]. Biorąc pod uwagę fakt, że ograniczenia związane z systemem transportu bliskiego i magazynowania występują przeważnie na poziomie operacyjnym należy stwierdzić, że mają one charakter dynamiczny.

W związku z powyższym w artykule zaproponowano algorytm planowania przepływu produkcji uwzględniający dynamiczne ograniczenia zasobowe systemu. Problem sformułowano następująco:

Dany jest system przepływu produkcji opisany programem produkcji i wydajnością linii produkcyjnej oraz podsystemem transportu wewnętrznego, zewnętrznego i magazynowania.

Jak zarządzać pojemnościami magazynów i podsystemem transportu wewnętrznego aby zagwarantować nieprzerwany przepływ produkcji w okresie planistycznym.

2. Model systemu przepływu produkcji

Rozważmy system przepływu produkcji, obejmujący linię produkcyjną wyrobów gotowych, magazyny i system transportu wewnętrznego oraz zewnętrznego. Wyroby gotowe spływające z linii produkcyjnej w średnich seriach, za pośrednictwem wózków widłowych są transportowane do magazynu wydziałowego. Z magazynu wydziałowego wyroby gotowe są transportowane do magazynu wyrobów gotowych, również za pośrednictwem wózków widłowych, zaś z magazynu wyrobów gotowych trafiają na samochody ciężarowe obsługujące spedycję, które zgłaszają się po odbiór określonych partii wyrobów gotowych zgodnie z zadanym harmonogramem. Istnieje możliwość przetransportowania wyrobów bezpośrednio z magazynu wydziałowego na oczekujące samochody ciężarowe [2][3].

Definicja 1

Systemem przepływu produkcji W nazywamy szóstkę (a, N_i, E, C_w, C_g, l) , która określa ilość asortymentów wyrobów produkowanych w systemie, zbiór programów produkcji, wydajność linii produkcyjnej, magazyn wydziałowy, magazyn wyrobów gotowych oraz zbiór wózków dostępnych w systemie, gdzie:

- a – liczba asortymentów wyrobów wytwarzanych przez linię produkcyjną;
- N_i – program produkcji i -tego asortymentu w okresie planistycznym, $i=1, \dots, a$;
- E – wydajność linii produkcyjnej;
- C_w – pojemność magazynu wydziałowego;
- C_g – pojemność magazynu wyrobów gotowych;
- l – liczba wózków.

Definicja 2

Zbiór wózków l dostępnych w systemie składa się z trzech podzbiorów: l_w , l_g , l_s przy czym $l = l_w + l_g + l_s$, gdzie:

- l_w – liczba wózków pomiędzy linią produkcyjną i magazynem wydziałowym;
- l_g – liczba wózków pomiędzy magazynem wydziałowym i magazynem wyrobów gotowych;
- l_s – liczba wózków pomiędzy magazynem wyrobów gotowych i spedycją.

Definicja 3

Każdy wózek ze zbioru l zdefiniowany jest dwoma wielkościami: pojemnością c oraz czasem cyklu obsługi T_w lub T_g lub T_{ss} lub T_{sg} w zależności do którego podzbioru dany wózek należy, gdzie:

- c – pojemność wózka,
- T_w – cykl obsługi magazynu wydziałowego przez wózek należący do zbioru $\{l_w\}$ (załadunek, przejazd do magazynu wydziałowego, wyładunek, powrót),
- T_g – cykl obsługi magazynu wyrobów gotowych przez wózek ze zbioru $\{l_g\}$,
- T_{ss} – cykl obsługi spedycji przez wózek należący do zbioru $\{l_s\}$,
- T_{sg} – cykl obsługi spedycji przez wózek należący do zbioru $\{l_g\}$,

Definicja 4

Podsystemem transportu zewnętrznego Z nazywamy trójkę wektorów (v, h, k) , gdzie:

- v – wektor pojemności środków transportu zewnętrznego;
- h – wektor terminów dostępności środków transportu zewnętrznego;
- k – wektor odbiorów asortymentów przez środki transportu zewnętrznego.

3. Algorytm planowania przepływu produkcji

Tak zbudowany i opisany model systemu przepływu produkcji posłuży do zobrazowania procesu budowy algorytmu planowania przepływu produkcji w zależności od przyjętych ograniczeń. Dla rozważanego systemu przepływu produkcji ograniczeniami logistycznymi o charakterze dynamicznym są:

1. Liczba dostępnych w systemie wózków.
2. Pojemności magazynów.
3. Pojemności dostępnych środków transportu zewnętrznego.

Ustalenie czy dynamiczne ograniczenia logistyczne pozwolą na realizację w rozpatrywanym systemie założonego celu wymaga odpowiedzi na szereg pytań szczegółowych. Procedura weryfikacji ograniczeń rozważanego systemu przepływu produkcji odbywa się zgodnie z algorytmem opisanym poniżej:

1. Nieprzerwany przepływ produkcji w okresie planistycznym zostanie zapewniony wtedy gdy okres realizacji programów produkcji wszystkich asortymentów wyrobów będzie co najwyżej równy okresowi planistycznemu, a zatem warunek ma postać:

$$\frac{\sum_{i=1}^a N_i}{E} \leq T \quad (1)$$

Gdy warunek (1) jest spełniony przechodzimy do następnego etapu, w przeciwnym wypadku przerywamy procedurę weryfikacji, co oznacza, że założony cel nie może zostać zrealizowany.

2. Kolejnym warunkiem nieprzerwanego przepływu produkcji jest zagwarantowanie dostępności odpowiedniej pojemności wózków obsługujących linię produkcyjną. Jest to zatem warunek, który ma następującą postać:

$$T_w \cdot E \leq l_w \cdot c \quad (2)$$

Z przedstawionego warunku można wyznaczyć liczbę wózków obsługujących linię produkcyjną, która gwarantuje utrzymanie ciągłości pracy linii produkcyjnej:

$$l_w = \frac{T_w \cdot E}{c} \quad (3)$$

Gdy warunek (2) jest spełniony i wyznaczymy potrzebną liczbę wózków l_w przechodzimy do następnego etapu, w przeciwnym wypadku przerywamy procedurę, co oznacza, że cel nie może zostać zrealizowany.

3. Sprawdzenie czy niezbędna liczba wózków l_w jest dostępna w całym systemie, a zatem czy spełniony jest kolejny warunek:

$$l_w \leq l \quad (4)$$

Jeżeli spełniony jest warunek (4) jest spełniony przechodzimy do następnego etapu, w przeciwnym wypadku kończymy sprawdzanie kolejnych warunków co oznacza, że cel nie zostanie zrealizowany.

4. Sprawdzany jest warunek gwarantujący dostępność wystarczającej pojemności magazynu wydziałowego C_w do zmagazynowania produkcji wyprodukowanej w okresie T o postaci:

$$C_w \geq \sum_{i=1}^a N_i - l_w \cdot c \quad (5)$$

Jeżeli spełniona jest zależność (5) to proces polegający na sprawdzaniu kolejnych warunków można zakończyć, gdyż zagwarantowany jest nieprzerwany przepływ produkcji w okresie planistycznym T. Gdy warunek (5) nie jest spełniony przechodzimy do następnego etapu.

5. Niespełnienie nierówności (5) oznacza, że istnieje pewna liczba elementów d, które nie mieszczą się w magazynie wydziałowym. Wielkość d wyznacza następująca zależność:

$$d = \sum_{i=1}^a N_i - C_w - l_w \cdot c \quad (6)$$

przy czym d jest produkcją, która nie mieści się w magazynie wydziałowym oraz na wózkach l_w . Po wyznaczeniu wielkości d przechodzimy do następnego etapu.

6. Sprawdzenie czy dostępna jest wystarczająca liczba wózków l_g do przewiezienia produkcji d na spedycję, a zatem czy spełniony jest kolejny warunek algorytmu:

$$\frac{d \cdot T_{sg}}{c \cdot T} \leq l - l_w \quad (7)$$

Jeżeli spełniony jest warunek (7) przechodzimy do następnego etapu, w przeciwnym wypadku przechodzimy do etapu 8.

7. Sprawdzenie czy pojemność podstawionych środków transportu jest większa od produkcji d. Oznacza to, że spełniona musi być nierówność:

$$\sum_{i=1}^m v_i \geq d \quad (8)$$

Jeżeli spełniona jest zależność (8) to proces polegający na sprawdzaniu kolejnych warunków można zakończyć. Gdy warunek (8) nie jest spełniony przechodzimy do następnego etapu.

8. Sprawdzenie czy jest dostępna wystarczająca liczba wózków l_g do przewiezienia produkcji d do magazynu wyrobów gotowych C_g , a zatem czy spełniony jest następujący warunek:

$$\frac{d \cdot T_g}{c \cdot T} \leq l - l_w \quad (9)$$

Jeżeli spełniony jest warunek (9) to przechodzimy do następnego etapu, w przeciwnym wypadku kończymy sprawdzanie kolejnych warunków co oznacza, że cel nie zostanie zrealizowany.

9. Sprawdzany jest warunek gwarantujący dostępność wystarczającej pojemności magazynu wyrobów gotowych C_g do zmagazynowania produkcji d . Oznacza to, że spełniona musi być następująca zależność:

$$C_g \geq d - l_g \cdot c \quad (10)$$

Jeżeli spełniona jest zależność (10) to proces polegający na sprawdzaniu kolejnych warunków można zakończyć, gdyż zagwarantowany jest nieprzerwany przepływ produkcji w okresie planistycznym T . Gdy warunek (10) nie jest spełniony przechodzimy do następnego etapu.

10. Niespełnienie zależności (10) oznacza, że istnieje pewna wielkość produkcji f , która nie mieści się w magazynie wyrobów gotowych C_g . Wielkość f wyznacza następująca nierówność:

$$f = d - C_g - l_g \cdot c \quad (11)$$

gdzie f jest produkcją, która nie mieści się w magazynie wyrobów gotowych oraz na wózkach l_g . Po wyznaczeniu wielkości f przechodzimy do następnego etapu.

11. Sprawdzenie czy dostępna jest wystarczająca liczba wózków l_s do przewiezienia produkcji f na spedycję, co oznacza, że spełniony musi być następujący warunek algorytmu:

$$\frac{f \cdot T_{ss}}{c \cdot T} \leq l - l_w - l_g \quad (12)$$

Jeżeli spełniony jest warunek (12) jest spełniony przechodzimy do ostatniego etapu, w przeciwnym wypadku kończymy wykonywanie procedury co oznacza, że cel nie zostanie zrealizowany.

12. Sprawdzenie czy pojemność środków transportu zewnętrznego m dostępnych w okresie planistycznym T jest wystarczająca do pomieszczenia produkcji f . Oznacza to, że spełniona musi być następująca nierówność:

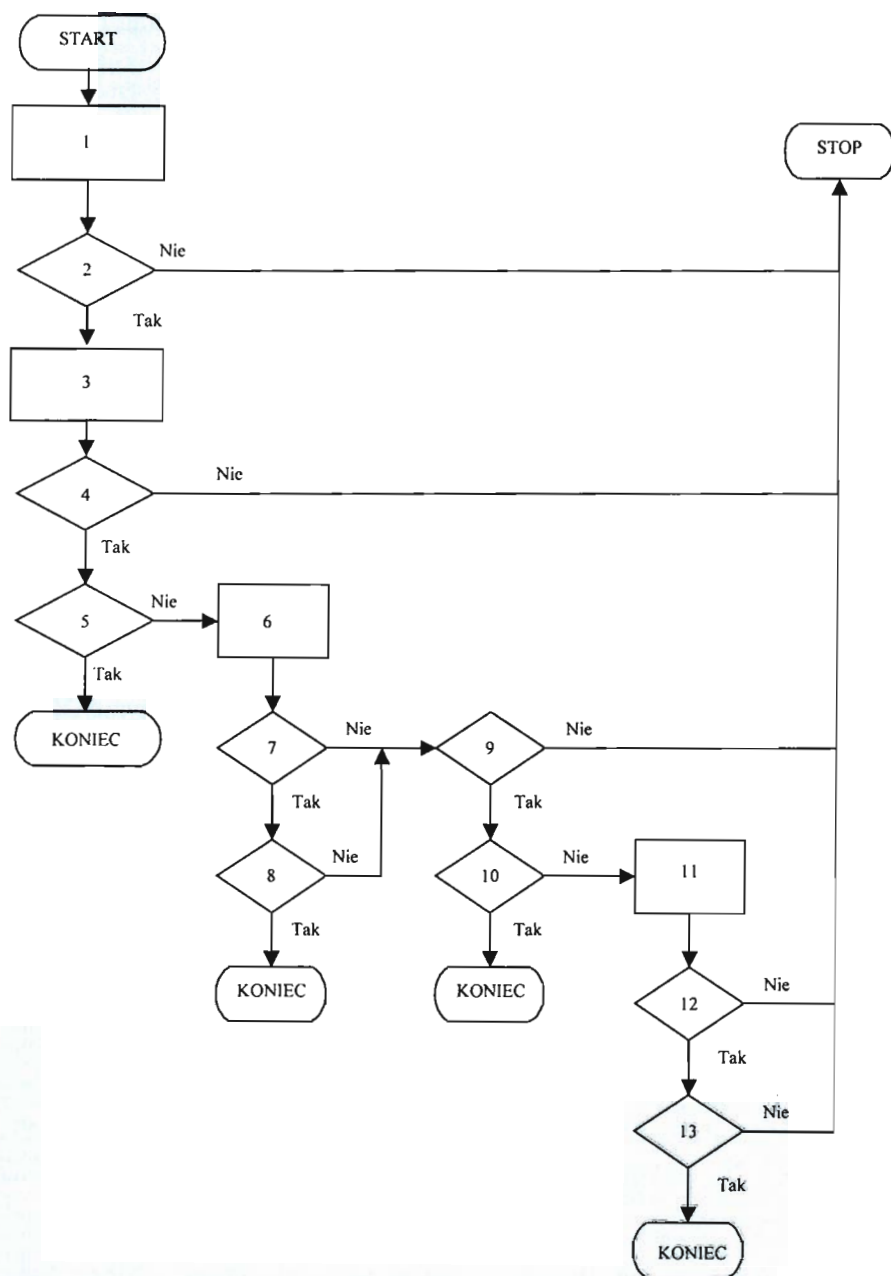
$$\sum_{i=1}^m v_i \geq f \quad (13)$$

Jeżeli spełniona jest zależność (13) to proces weryfikacji warunków można zakończyć, ponieważ wszystkie warunki zostały spełnione i możliwe jest zrealizowanie

postawionego celu. W przeciwnym wypadku wykonywanie procedury należy zakończyć co oznacza, że cel nie zostanie osiągnięty.

Rysunek 1 przedstawia schemat blokowy algorytmu zaproponowanej powyżej procedury planowania przepływu produkcji rozważanego systemu. Opis poszczególnych bloków algorytmu przedstawia się następująco:

1. Harmonogram produkcji w okresie planistycznym T
2. Czy zadany harmonogram produkcji może zostać zrealizowany w okresie planistycznym T
3. Wyznaczenie liczby wózków l_w niezbędnych do obsługi linii produkcyjnej
4. Czy wystarczająca ilość wózków l_w jest dostępna w całym systemie
5. Czy pojemność magazynu wydziałowego C_w jest wystarczająca
6. Wyznaczenie wielkości produkcji d nie mieszczącej się w magazynie C_w
7. Czy dostępna jest wystarczająca liczba wózków do przetransportowania produkcji d na spedycję
8. Czy dostępna jest wystarczająca pojemność środków transportu zewnętrznego do pomieszczenia produkcji d
9. Czy dostępna jest wystarczająca liczba wózków l_g do przetransportowania produkcji d do magazynu C_g
10. Czy dostępna jest wystarczająca pojemność magazynu wyrobów gotowych C_g do zmagazynowania produkcji d
11. Wyznaczenie wielkości produkcji f nie mieszczącej się w magazynie C_g
12. Czy dostępna jest wystarczająca liczba wózków l_s do przetransportowania produkcji f na spedycję
13. Czy dostępna jest wystarczająca pojemność środków transportu zewnętrznego do pomieszczenia produkcji f



Rys. 1. Schemat algorytmu weryfikacji ograniczeń systemu przepływu produkcji

5. Wnioski i kierunki dalszych badań

W prezentowanym artykule rozważano problem syntezy podsystemu transportu wewnętrznego i magazynowania systemu przepływu produkcji, gwarantującego nieprzerwany przepływ produkcji w okresie planistycznym. Opracowany algorytm może zostać zaimplementowany w komputerowy system wspomagania planowania realizacji zleceń produkcyjnych w elastycznych systemach produkcyjnych.

Prezentowana praca może być kontynuowana w następujących kierunkach:

- uogólnienie algorytmu dla systemu o K magazynach,
- analiza wpływu wprowadzenia zmiennych parametrów charakteryzujących proces produkcyjny na przepływ produkcji,
- analiza możliwości sterowania parametrami podsystemu transportu.

Literatura

1. **Abt S.:** Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwie, Warszawa, PWE 1998.
2. **Kabza P., Kaczmarek P., Kłos S.:** Model systemu identyfikacji i przepływu produkcji średnioseryjnej w firmie Kronopol sp. z o.o., Konferencja naukowo-techniczna, Manufacturing - współczesne problemy wytwarzania, Tom II, Poznań 2001.
3. **Kabza P., Kaczmarek P.:** Koncepcja systemu transportu wewnętrznego i magazynowania w firmie Kronopol sp. z o.o., V Konferencja, Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 2002, WNT Warszawa 2002.
4. **Korzeń Z.:** Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania, Tom II, Projektowanie Modelowanie Zarządzanie, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 1999.

THE ALGORITHM OF MATERIAL FLOW PLANNING UNDER THE CONDITIONS OF DYNAMIC RESOURCE LIMITATIONS

Abstract: The article describes the algorithm of production flow planning, taking into consideration the dynamic resource limitations of logistics short-distance transportation and storing system like: number and lifting capacity of forklifts, warehouse capacity, distance between warehouses.

The article considers synthesis of sub-system of internal transportation and storing of production system, that guarantees continuous production flow in planning process period.

Roman Kaczyński*

STRUCTURE-ENERGY PHENOMENON AND CONDITIONS OF SELF-ORGANIZING OF TRIBOSYSTEM

Streszczenie: W artykule przedstawiono usystematyzowaną analizę literaturową strukturalno-energetycznego podejścia do podstawowych teorii tarcia. Szczególną uwagę zwrócono na teorię samoorganizacji systemów tribologicznych. Wyselekcjonowano wnioski dotyczące pracy części maszyn w okresach przejściowych ze szczególnym uwzględnieniem ekstremalnych warunków tarcia.

1. General regularity of friction and wear and the stability of the level and range of self-organizing of materials

The theoretical basis of general classification, physical models of different types of wear, representation of the thermodynamics of irreversible processes, the outcomes of comprehensive experimental investigations and the use of industrial know-how have allowed B.I. Kostetsky and his team to experimentally establish and theoretically justify the presence of fundamental regularity of friction and wear and to reveal its main physical characteristics – the phenomenon of structure and energy adaptability of materials in mechanical, chemical and thermochemical processes. [1, 2, 3, 32]

General regularity of friction and wear confirms the existence of ranges of normal friction with minimum values of both friction and wear parameters and areas of unstable friction processes reaching critical values.

Stationary states at which friction and wear processes occur have the greatest value for both theory and practice.

* Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok

In the above states, within some external load conditions, thin layers of structures of different properties originate.

The stationary state results from a fluctuation in the tribosystem. [4] The fluctuations in the system arise at the expense of changes of external disturbances, however, the condition of the presence of the fluctuation is fulfilled even at constant external disturbances, just as the internal parameters of the tribosystem are fluctuating [5, 6].

The initial stationary state at low parameters of external load [Fig. 1] stems from the kinetic phase change from unsteady processes to the appearance of dissipate secondary structures with the dynamic balance of their formation and destruction processes. [Fig. 1 region II] Further increase of motion and the intensification of thermal processes result in the stabilization of the system at another higher level (Fig. 1 region IV). Thermochemical processes of the formation of the protective secondary structures on the surfaces of both tools and other worked materials are dominant in the second stationary state. [4]

The evolution of external influences at friction causes the derivation of the system from a stationary state into an unstable state of damageability (wear).

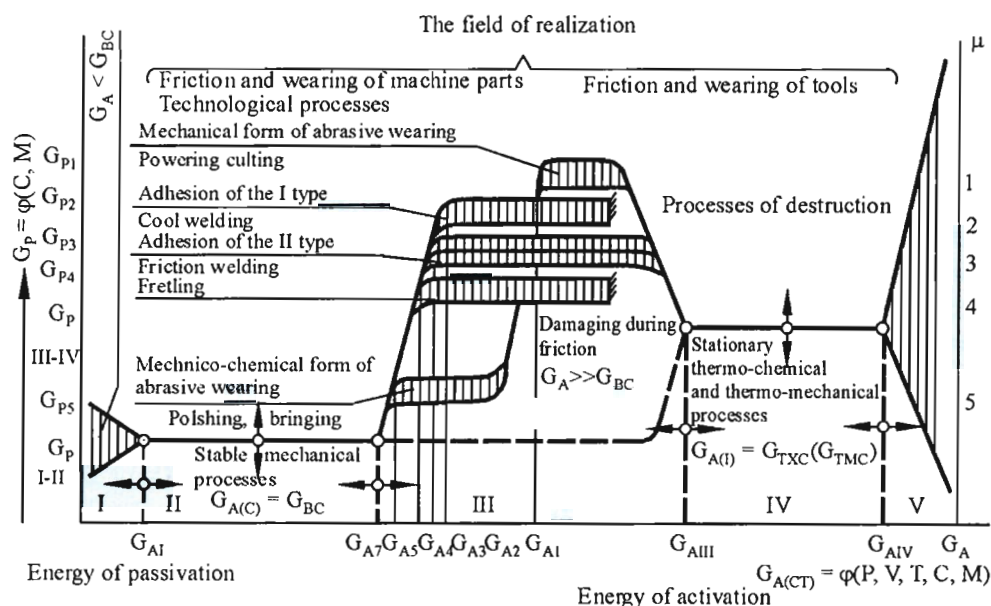


Fig. 1. General regularity of friction and wearing [7]

The existence of stationary states is a general structure–energy phenomenon of adaptation assumed by materials at friction. The principle of this phenomenon of self-organizing consists in the formation of steady ordered dissipative structures at normal friction in the zone of contact with the characteristics of minimum entropy production. The capability of the formation of such structures in nature is justified by the fundamental laws of physics. [8]

Any combinations of materials, load parameters and environmental features and properties are characterized by a definite level and range of structure-energy self-organization.

To describe the above phenomena some thermodynamic criteria have been elaborated. [9]

The level of structure-energy self-organization is characterized by the value of specific destruction activity A_p .

$$A_p = A_{mp} / \Delta I, \text{ [J/mm}^3\text{]} \quad (1)$$

The value of A_p characterizes losses of friction work A_{mp} used on disposing from the friction surface of a volume unit of a material $\Delta I = 1 \text{ mm}^3$. [10]

The energy criterion of determining the structure-energy self-organizing is the energy capacity of friction systems. In practice, the temperature factor is the most significant one for the energy capacity of the friction systems.

$$\mathfrak{D}_Q = \frac{A_{mp}}{\Delta T}, \text{ J/sm}^2 \cdot 1^\circ\text{C} \quad (2)$$

This value describes qualitatively the energy of thermal activation of friction system materials. It characterizes the losses of friction work A_{mp} used for the temperature increase by 1°C on the contact surface.

The values A_p and $\mathfrak{D}_Q$ at normal friction remain stable.

Knowing the value $\mathfrak{D}_Q$ and the temperature of the destruction of materials of the friction system T_q , it is possible to determine critical values of friction work A_{kp} which is responsible for transitions to damageability. [10]

$$A_{kp} = \mathfrak{D}_Q \cdot T_q \quad (3)$$

The features of structure-energy theories of friction permit to make a better use of the strength of the materials used in the friction systems, a better use of the friction medium and other forces which accompany the process. The theory gives also a possibility of generalizing the results of experimental investigations, practical achievements in industry and explaining the causes of the efficiency or ineffectiveness of current engineering solutions and theoretical assumptions.

The implementation of the fundamental principles allows us to formulate directions and ways of controlling friction and wear and to predict tribological parameters. This implementation of fundamental principles constitutes clear objectives of predicting and controlling such as protection against material fatigue, extension of normal mechanochemical and thermochemical processes and decrease of their values or levels.

2. Activation and passivation.

Conditions of tribosystem self-organizing and transition from normal processes to damageability

The elasto-plastic deformation causes structural and thermal activation of the surface layers of metals. [11] The nature of physical and chemical processes, and in particular physical and chemical adsorption, diffusion and chemical reactions have been widely studied. [12, 13, 14] It is necessary to note that during friction, structural and thermal activation occurs simultaneously and its separation is impossible. Unlike the thermal activation, the structural activation has not been analyzed sufficiently enough. [15, 16] These dependencies at friction play a significant role in the course of the main oxidation and sticking processes dependent on the contact conditions. The dislocation-vacation nature of the active centres confirms the fact that the processes of structural activation determine the kinetic origin and the dynamics of these pathological phenomena. These changes connected to the energetic properties of atoms, depend, in turn, on thermal activation. The structural activation during friction is extremely high. This is conditioned by the features of structural mechanisms of plastic deformations of thin surface layers, such as homogeneity of deformation dependent on the extensiveness of the process in which the whole surface under load is involved, intensity of the process which can be evaluated on the same level as the activation energy of possible diffusion mechanisms. [12, 17, 18]

Basic processes leading the activated surface layers to equilibrium or a metastable state are adsorption, diffusion and chemical reactions. The kinetics of the oxidation and sticking processes is determined by the degree of the energy irregularity in the surface layer structures loaded by friction. The origin of sticking or oxidation as the main process depends on the contact conditions i.e. the ratio of the originating passivated surface particles and the influence of the penetrating environment.

The mechanisms of oxidation of friction are connected, first of all, with the possibility of intensive diffusion – as an oxidant and metal ions in all stages of the process. This phenomenon depends on the described above specificity of the state of thin surface layers at friction and constant destruction (wear) of the reaction products (passivated films of secondary structures of the thickness in the order of about 100 angstroms).

The secondary structures at friction, in contrast to other known oxidation products, represent a wide group of unstoichiometric compounds – corresponding to the relation “oxidant – metal”. They are mainly supersaturated solid solutions of oxidants and other compounds similar in their compositions to oxides.

The secondary structures characterized by the possibility of minimum production of entropy arise at normal friction in the contact zones.

The application of the achievements of the thermodynamics of open systems, synergetics, materials engineering and physico-chemical surface phenomena makes it possible to describe self-organization mechanisms of ordered dissipate structures and ranges of normal functioning of tribosystems. The application of kinetic and energy conditions including mutual interaction of all factors gives a new possibility to describe the phenomena of surface damageability.

The degree of self-organization determining the level of tribotechnical parameters is described by means of the criterion of modification and structural self-organization of new phases arising at normal friction. The basis of the indispensable phase-energy self-organization of tribosystems is the kinetic phase change process and the formation of new dissipative structures.

According to the principles by I. Prigogin the dissipative structures of self – organization are formed when the following conditions are fulfilled:

1. The system is open thermodynamically i.e. it interchanges energy and matter with the environment,
2. The dynamic equations of the system are non-linear,
3. The deviations from the equilibrium are caused by exceeding critical values,
4. Microscopic processes interact and occur concurrently.

These general conditions of self-organization and formations of dissipative structures are true for any external friction system for each type of tribosystem.

The essence of kinetic phase change is contained in the transformation of the external energy of activation into the internal energy i.e. creation of dissipative structures. The fundamental and indispensable condition of self-organization reflects the energy balance of these processes, as shown below. [4]

$$G_A = G_{DC} \quad (4)$$

In order to investigate the mode of self-organization of materials in tribosystems and the formation of dissipative structures, the effective energy of triboactivation (G_A) should be contained within the boundaries of the energy necessary to implement the kinetic phase change (G_{DC}).

The basis which satisfies the kinetic condition of normal friction is the conformity of the rate of the formation processes of dissipative structures and their destruction.

For the steady operation of dissipative structures it is necessary that the rate of the destruction of dissipative structures $V_{destr\ DC}$ does not exceed the formation rate of the structures:

$$V_{destr\ DC} = V_{woc\ DC} \quad (5)$$

The kinetics of the dynamic balance of the processes of activation and passivation of materials according to condition (5) can be seen in the cyclic repetition of formation and destruction of new phases resulting from the kinetic phase change. This condition has a special significance for time-space dissipative structures and the formation of the stability processes between their strengthening and further destruction.

Substantial strength of dissipative structures δ_{DC} – resulting from the kinetic phase change of self-organizing mechanism, ordering, liquidation of the defects of co-operating friction elements and environmental interplay as compared to the strength of basic materials δ_{icx} is increased ξ times.

$$\delta_{DC} = \xi \delta_{icx} \quad (6)$$

The criteria ξ characterizing the degree of modification and ordering of materials into tribosystems determines the level of tribotechnical parameters in the boundaries of normal friction and shows a significant influence on the normalization of tribosystems.

The conditions (4) – (6) present a complex of basic principles of tribology applicable to all known types of self-organization of technical tribosystems described by B.I. Kostetsky.

The breach of the self-organizing conditions of tribosystems causes a transition from normal wear to damageability of surfaces (pathological destruction processes) – transition from external to internal friction.

Pathological processes of destruction of friction surfaces include: processes directly connected with friction (sticking, abrasive wear including the damaging of the contact surface, fatigue damages and fretting processes) and processes indirectly connected with friction such as crushing, electroerosive damages, corrosion and cavitation.

The processes of sticking arise under certain friction conditions, when there exists a possibility of contact of co-operating elements of materials at atomic distances. [20]

A critical state of the activated layers of metals is reached as a result of inter-diffusion and formation of suitable compounds characteristic of given metals. The kinetics of sticking processes is controlled by the rate of diffusion. The sticking is manifested by two states: kind I at a predominantly structural activation and kind II at predominantly thermal activation.

The destruction through sticking of kind I and II, depending on the mechanical properties of the contact surfaces, will range from plastic to crack states. The destruction arising from the contact fatigue at friction will correspond to a known type of fatigue destruction. According to the results of the dislocation - energy analysis [20] the fatigue failure of metals will arise when the specific volume of the metal absorbs the energy of a definite quantity determined by the forces of the given metal. The transition to damageability at abrasive wear takes place owing to the intrusion of abrasive elements and the destruction of the surface volumes of the basic metal or through the removal of the microlayer.

The destruction of the friction surfaces of machine parts which occurs at intensive (dynamic) oxidation or sticking will cause fretting processes. The oxidation at fretting processes has a specific nature, unusual for the conditions of normal friction and occurs in a very intensive way. This considerable intensification of the oxidation and sticking is caused by the dynamic character of loading, at which the gradient of deformation and temperatures will rise sharply at contact surfaces.

The main problem of the analysis of the transition states from normal friction to damageability is the determination of critical states of tribosystem dependent on the external mechanical interaction of temperature and the environment. At the same time it is very important to explain the physical aspect of the phenomenon and to determine of causes the originating of different types of damageability processes.

3. Critical analysis of the current knowledge of transition processes

Analysis of scientific literature on the problem shows that with a large number of frictional elements and parts there is a violation of normal working conditions and a transition to phenomena of damageability of the working surfaces through sticking. The above results in an unacceptable lowering of machine life and considerable material costs of repair of machine parts.

Maiden attempts of the description of the mechanisms of metal sticking (from the initial up to final stages) have been described in a number of works. [21, 22, 23] However, the experiments were conducted basically not at pure friction but at the accompanying plastic metal deformation. In the papers, first of all, the destruction on the surface contact was investigated after final external changes resulted from metal sticking.

According to B.I. Kostetsky [20, 24, 25] for the development of the sticking processes of metals there must occur a microplastic deformation of the surface layers. As a result we have a pure contact of metals deprived of any oxides or any other (impurities) products of friction. At high speeds of working the sticking processes take place on all metals and alloys in a sudden way as a result of high temperatures which are generated by the working parts. These phenomena occur due to high temperatures on the surfaces and thermal plasticity.

Molecular sticking, according to I.V. Kragelsky [22, 27, 28], is due to the fact that, as a result of deformation, the damaged crystal lattice starts interacting with the crystal lattice of another body and at friction - sticking manifest itself as a deep destruction process i.e. ejecting of fragments from the surface of a weaker material.

V.D.Kuznetsov [29] maintains that the molecular interaction or attachment of surfaces is possible at dry friction. According to him, the phenomenon of contact sticking at friction depends on the surface purity, contact speed, temperature and other conditions.

According to S.B. Ibeender and A.E. Klokova [21] different capacities of metals for sticking can be explained by an unequal interaction of mechanical properties of surface layers and the base metal. With an increase of load the surface layers transmit operational forces on to the underlying layers of the metal. These in turn spread and mix up with fragments of layers and (or) form common compounds.

According to A.P. Semenov [23] the energy hypothesis of metal sticking is possible in the cases when the atomic energy of crystal lattice is higher than a definite level of a given metal – energetic level of sticking. The rise of energy occurs as a result of cracking or plastic deformation arising at friction or as a result of a temperature rise.

Achieving an energy threshold of sticking metals become amorphous, and metallic compounds arise between surfaces.

According to N.L. Golego [30, 31] kind II of sticking arises at high speeds of relative motion of frictional surfaces and high specific pressures, as a result of which there is an instantaneous heating and weakening of the fine surface layers of metals, their plastic deformation under the operation of mechanical forces. There is also a destruction of adsorbed films, near-contact of surfaces and the formation of metallic compounds.

In the majority of works the authors deal mainly with the quantitative characteristics of machine parts wear and also some data concerning the external changes on the friction surfaces of parts working in sticking conditions. They do not pay attention to the qualitative nature of the sticking processes.

Currently, there is a need to carry out a continuous monitoring of the origin and development of kind II of sticking using the information about the processes which occur at friction. It was found that at external friction some mechanical energy is spent on the activation of mechanical and chemical reactions in the region of frictional interaction of bodies in contact and the formation of secondary structures. As a result, there is a need to analyse various physical phenomena (thermal, acoustic, rheological, electrical etc.) which occur at friction and wear of machine parts and to use the phenomena to estimate the surface conditions of the materials in working contact. A special value can be ascribed to the phenomenon of electrical conductance of the friction contact at the transition phase from normal friction to damageability.

Using the structure-energy approach to the interaction of friction surfaces in combination with the analysis of the resistance parameters it is more and more possible to get acquainted with the mechanisms of transitional processes at friction. The results presented in further parts make it possible to compare and analyse correctly the transition processes from normal friction to sticking. They are also essential for predicting conditions of sticking and controlling the range of normal friction and the time of the transition period.

References

1. **Kostetsky B. I.:** The basic situations of structural – energetic theories of friction, lubrication and wearing // *Medzinarodne sympozium about kiznom ulozeni – Bratislava*, p.p. 33-55, 1977.
2. **Kostetsky B. I., Nosovsky I. G.:** Wear resistance and antifriction of parts of machines (in Russian), K., *Tehnika*, 1965.
3. **Kostetsky B. I.:** Fundamental bases of surface strength of materials at friction [in Russian], K., *Znanie*, 1980.
4. **Bershadsky L. I.:** Friction as a termomechanical phenomenon [in Russian], Report AS USSR, Ser. A, nr 6, pp. 186-190, 1977
5. **Bershadsky L. I.:** About self-organizing of trosystems [in Russian], Problems of friction and wearing: The republican interdepartmental scientific and technical collection, n 21, pp. 10-24, 1982.

6. **Kostetsky B. I.:** Structural – power adaptability of materials at friction [in Russian], *Trenie i Iznos*, T.V1, nr 2, pp. 201-212, 1985.
7. **Kostetsky B. I., Bershadsky L. I., Karaulov A. K.:** Metaphisic problem of reliability and longevity of machines [in Russian], *Physics of metals*, K., Naukova dumka, pub.48, pp. 4-23, 1973.
8. **Zhukovitsky A. A., Shbartsman L. A.:** Physical Chemistry [in Russian], M., Metallurgia, 1968.
9. Oxidation of metals / By general edition G. Benar (Russian translation), v.1.2, M. Metallurgia, 1968.
10. **Girnev B. N., Meshkov U. I., Rafalovsky B. A.:** Metalphysics [in Russian], K., Naukova dumka, pp. 31-35, 1968.
11. **Mints R. I.:** Research of a surface of construction materials by a method of an exoelectronic emission [in Russian], Pub. House UPI, Sverdlovsk, 1969.
12. **Zit V.:** Diffusion in metals [Russian translation], M., Metallurgia, 1958.
13. **Kostetsky B. I.:** Complex of fundamental conditions of self-organizing of technical tribosystems, *Varshava, Tribologia*, nr 12, pp. 18-27, 1987.
14. Reliability and longevity of machines [in Russian] / By general edition B.I.Kostetsky, K., Tehnika, 1975.
15. **Ibinder S. B., Pranch A. S.:** About the gear of originating and destruction of coupling during friction of metals [in Russian], *Informations A.S.Latv.SSR*, № 10, pp. 43-49, 1958.
16. **Kostetsky B. I.:** Friction, lubrication and wearing in machines [in Russian], K., Technika, 1970.
17. **Garkunov D. N., Kragel'sky I. B.:** About atomic sticking of materials at friction [in Russian], *DAS. USSR*, T. 113, nr 2, 1957.
18. **Kragel'sky I. B., Alesin V.V.:** Friction, wearing and lubrication [in Russian]. – Reference Book, M., Mashinostroenie 1987.
19. **Kragel'sky I. B., Shvetsova E. M.:** Influencing of a slip velocity on wearing of like metals [in Russian], *Trenie i iznos v mashinah*, M., Publishing house AS USSR, pp. 74-79, 1956.
20. **Kuznetsov V. D.:** Role of growths at friction, Development of the theory of friction and wearing [in Russian], M., Publishing house AS USSR, pp. 174-191, 1957.
21. **Golego N. L.:** Sticking in machines and methods its removal [in Russian], M., Technika, 1965.
22. **Kaczyński R.:** Regularity and control of transitional processes from normal wearing to adhesion during friction of machine parts [in Russian], Author's summary of candidates thesis, Kiev, 1988.

Jan Kiciński*

MODELOWANIE I ANALIZA KOMPUTEROWA W BUDOWIE I EKSPLOATACJI MASZYN

Streszczenie: W pracy przedstawione zostały subiektywne oceny Autora dotyczące współczesnych tendencji rozwojowych w budowie i eksploatacji maszyn. Uwagi te dotyczą w głównej mierze tendencji integracyjnych w zakresie stosowanych narzędzi badawczych jak i tendencji integracyjnych w obszarze tradycyjnie uprawianych dyscyplin takich jak diagnostyka, tribologia czy bezpieczeństwo i niezawodność. Rozwój zintegrowanych systemów komputerowych CAD/CAM/CAE, a także koncepcji szeroko rozumianego projektowania współbieżnego i mechatroniki wymusza inne spojrzenie na kwestię budowy i eksploatacji maszyn. W tym kontekście rośnie rola eksploatacji maszyn jako wyraz pielęgnacji wyrobu od momentu jego zaprojektowania i wykonania aż do chwili całkowitego wyłączenia z eksploatacji.

Słowa kluczowe: tendencje rozwojowe, budowa i eksploatacja maszyn, systemy komputerowe

1. Uwagi wstępne

Niezwyczajnie burzliwy rozwój systemów komputerowych w budowie i eksploatacji maszyn skłonił Autora niniejszego artykułu do postawienia pytania: czy można określić tendencje rozwojowe szeroko pojętej komputeryzacji w tej dziedzinie wiedzy lub inaczej, dokąd zmierzamy rozwijając ciągle zarówno sprzęt jak i oprogramowanie? Czy fakt ten wpłynie na integrację tradycyjnych dyscyplin naukowych i sposób myślenia o produkcie końcowym? Zadanie to jest niezwykle trudne, ponieważ komputeryzacja w budowie i eksploatacji maszyn dotyczy systemów związanych z projektowaniem i modelowaniem bryłowym (CAD), wytwarzaniem i technologią (CAM) oraz z obliczeniami i analizą (CAE). Do tego dochodzą zintegrowane pakiety oprogramowania do kompleksowej komputeryzacji produkcji przemysłowej (przemysłowe bazy danych, systemy śledzenia procesów,

* Instytut Maszyn Przepływowych PAN, ul. Fiszerza 14, 80 – 952 Gdańsk

oprogramowanie wizualizacyjne) oraz specyficzne oprogramowanie związane z eksploatacją obiektu według ich stanu (np. systemy eksperckie).

Przedstawione w pracy opinie są wynikiem subiektywnych przemyśleń Autora i z natury rzeczy mogą być dyskusyjne.

2. Integracja i kompatybilność systemów cad/cam/cae

Firmy zagraniczne od szeregu już lat oferują na rynku krajowym różne systemy związane z projektowaniem, wytwarzaniem i analizą inżynierską. Śledząc ich rozwój można zauważyć tendencje łączenia funkcji typu CAD (projektowanie) z funkcją CAM (wytwarzanie i technologia) oraz CAE (analiza inżynierska). Realizowana w ten sposób jest zasada projektowania wirtualnego:

projektuj → analizuj → poprawiaj → wytwarzaj

Rośnie rola symulacji komputerowej (Simulation Driven Design), w tym zwłaszcza analizy kinematycznej, dynamicznej i cieplnej w procesie projektowania.

Wróćmy do zagadnień związanych z analizą inżynierską (CAE). Charakterystyczne jest orientowanie się systemów typu CAE w coraz większym stopniu na eksploatację obiektów według ich stanu, w tym zwłaszcza na systemy z automatycznym wnioskowaniem.

Tradycyjne narzędzia takie jak analiza statyczna i dynamiczna konstrukcji bryłowych, analiza modalna czy analiza nieliniowa, stosowane dotychczas głównie w budowie i projektowaniu maszyn, coraz częściej stosowane są w eksploatacji maszyn, obiektów i procesów. Uwaga ta dotyczy zwłaszcza analizy nieliniowej.

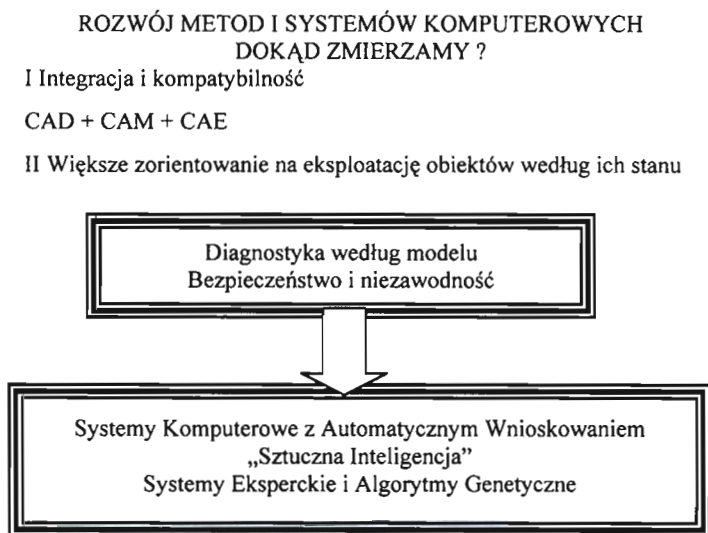
3. Analiza nieliniowa

Stosunkowo nowym obszarem zastosowań analizy nieliniowej jest diagnostyka według modelu. Możliwości generowania widm drgań i nieeliptycznych trajektorii kryjących w sobie symptomy zadanych defektów czyni ją niezwykle użyteczną przy budowie relacji typu: defekt – symptom. Warto tu zwrócić uwagę na aplikacje diagnostyki według modelu i tym samym analizy nieliniowej w budowie baz wiedzy systemów eksperckich. Wiedza symulacyjna może doskonale uzupełniać wiedzę eksploatatora i inżyniera praktyka i stanowić cenne ogniwo w łańcuchu metod pozyskiwania wiedzy diagnostycznej. Szczególnie interesujące na tym

tle wydają się być techniki pozyskiwania informacji metodą odwracania modeli obiektów [20].

Można zaryzykować stwierdzenie, iż w najbliższej przyszłości szczególnie intensywnie rozwijane będą systemy z automatycznym wnioskowaniem lub też inaczej ze „sztuczną inteligencją” zwane popularnie systemami eksperckimi.

Podsumujmy nasze rozważania. Dokąd zmierza rozwój metod i systemów komputerowych w budowie i eksploatacji maszyn? Odpowiedź na to pytanie częściowo zawarta jest na rys.1.



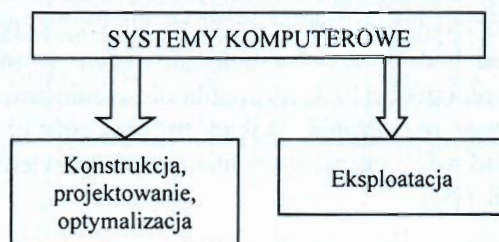
Rys. 1. Komputeryzacja w budowie i eksploatacji maszyn. Tendencje rozwojowe

Po pierwsze zauważyć możemy tendencje integracyjne systemów typu CAD/CAM/CAE oraz ich wzajemną kompatybilność. Wzrasta rola analizy inżynierskiej i badań symulacyjnych w procesie projektowania.

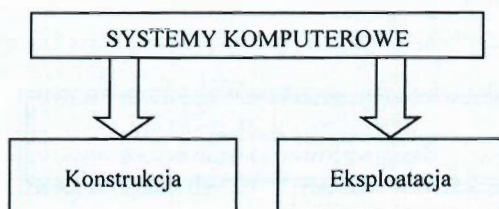
Po drugie stwierdzić musimy tendencję coraz większego zorientowania systemów komputerowych na eksploatację obiektów według ich stanu. Oznaczać to może intensywny rozwój w przyszłości diagnostyki według modelu, nauki o bezpieczeństwie i niezawodności, a przede wszystkim systemów eksperckich.

Rys. 2 w poglądowy sposób ilustruje te tendencje. O ile wcześniej zdecydowanie większa część potencjału programowego (i mocy obliczeniowej) kierowana była na konstrukcję i budowę maszyn to w przyszłości można spodziewać się proporcji odwrotnych.

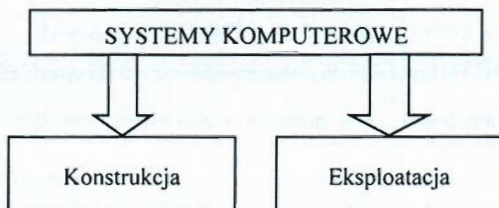
WCZORAJ



DZIŚ



JUTRO



Rys. 2. Wzrastająca rola eksploatacji w podziale potencjału programowego i obliczeniowego

4. Integracja dyscyplin

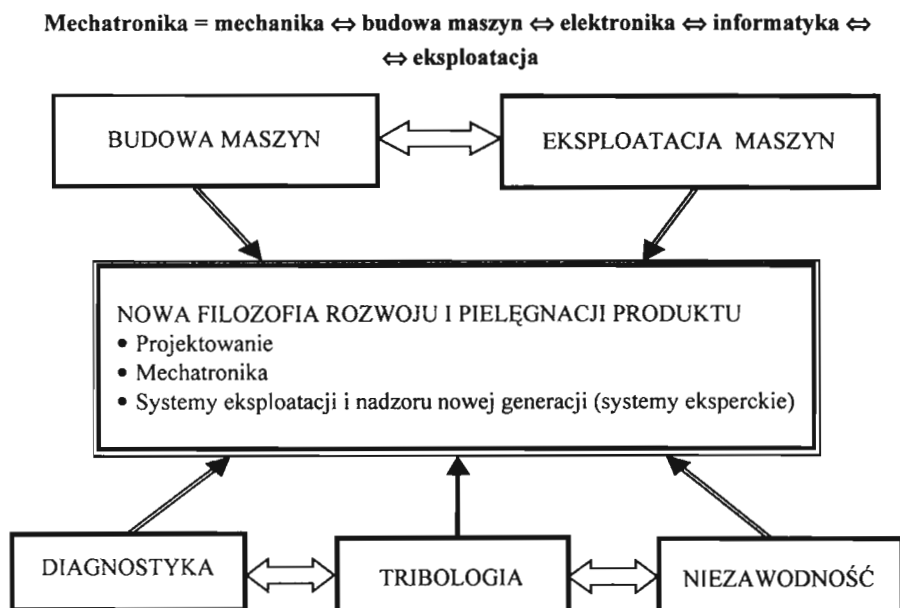
W obszarze eksploatacji maszyn wyróżnia się dość powszechnie tradycyjny podział na dyscypliny takie jak tribologia, diagnostyka, niezawodność i bezpieczeństwo. Tendencje integracyjne w rozwoju systemów komputerowych wymusiły już w pewnym stopniu inne podejście do zagadnienia budowy i eksploatacji ma-

szyn. Różnice pomiędzy budową i projektowaniem oraz eksploatacją maszyn coraz bardziej się zacierają. Dziś już wyraźnie mówimy o projektowaniu zorientowanym eksploatacyjnie oraz projektowaniu współbieżnym rozumianym szeroko, tzn. uwzględniającym nie tylko aspekty konstrukcyjne i eksploatacyjne ale także aspekty rynkowe, polityczne, itd.

Filozofię PROJEKTOWANIA WSPÓLBIEŻNEGO CE (Concurrent Engineering) wprowadzono po raz pierwszy w USA w 1989 roku. Do dziś stanowi ona główną przesłankę w kształceniu kadry inżynierskiej w wielu krajach na świecie. Można więc stwierdzić, że CE to metodologia postępowania zorientowana na pełny cykl życia wyrobu czyli na jakość, koszt i czas produkcji, estetykę i wymogi rynku. Oznacza to że:

$$CE = CAD/CAM/CAE + \begin{cases} \text{filozofia rozwoju produktu} \\ \text{ekologia, analiza rynku} \\ \text{analiza wartości} \\ \text{systemy eksploatacji produktu} \end{cases}$$

Kolejnym efektem komputeryzacji procesu projektowania i jego eksploatacyjnego zorientowania jest MECHATRONIKA. Koncepcję mechatroniki wprowadzili po raz pierwszy japończycy pod koniec lat siedemdziesiątych. Mechatronika to interdyscyplinarny obszar nauk technicznych próbujący zintegrować:



Rys. 3. Procesy integracyjne dyscyplin w obszarze budowy i eksploatacji maszyn

Klasycznym już efektem mechatroniki jest robot i robotyzacja procesów technologicznych i eksploatacyjnych.

Powyższe tendencje integracyjne w budowie i eksploatacji maszyn nie pozostają bez wpływu na procesy integracyjne w obszarze samej eksploatacji zwłaszcza tradycyjnie rozumianej. Coraz częściej się już dziś mówi np. o diagnostyce węzłów tribologicznych czy modelach prognostyczno – niezawodnościowych. Oznacza to oczywiście wspólną platformę myślenia w tribologii, diagnostyce i niezawodności. W przyszłości tego rodzaju tendencje będą powszechnie obowiązującą normą z uwagi chociażby na postępujące procesy unifikacji i standaryzacji oprogramowania narzędziowego i specjalnego oraz metodologii badań. Systemy eksploatacji i nadzoru bazujące na metodach sztucznej inteligencji tzw. systemy nowej generacji (systemy eksperckie) mogą być tu wymownym przykładem – rys.3.

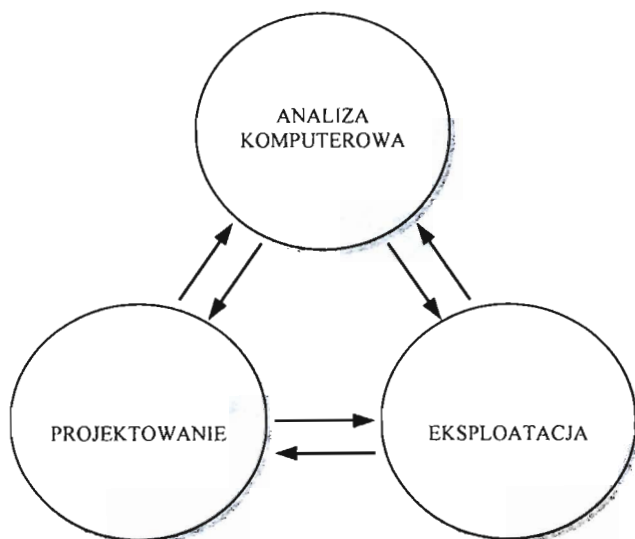
5. Projektowanie zorientowane eksploatacyjnie

Z przeprowadzonych rozważań wynika, iż dziś trudno jest już mówić o projektowaniu maszyny bez uwzględnienia szeroko rozumianych aspektów jej przyszłej eksploatacji. To właśnie ostre wymogi eksploatacyjne narzucają konieczność innego spojrzenia na proces konstruowania i kompleksowej analizy związków jakie zachodzą pomiędzy poszczególnymi podukładami projektowanej maszyny. Przykładem może tu być chociażby układ łożysko – maszyna.

Pokażemy, iż analiza własności samych łożysk, w oderwaniu od maszyny i jej parametrów eksploatacyjnych, prowadzić może nawet do błędów jakościowych w ocenie np. stanu dynamicznego obiektu.

W każdym przypadku będziemy mieli do czynienia z następującym, wzajemnie sprzężonym procesem – rys. 4.





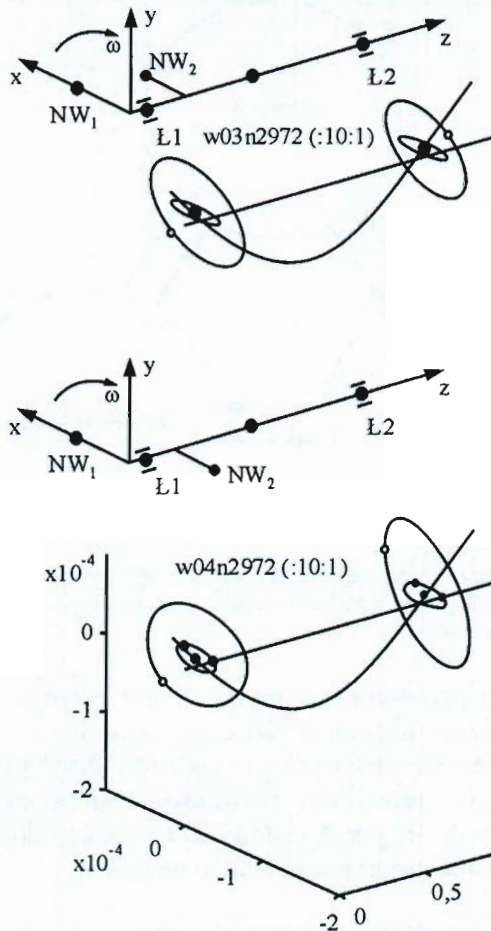
Rys. 4. Integracja działań: projektowanie – eksploatacja – analiza komputerowa jako niezbędne minimum w procesie wytwarzania i pielęgnacji produktu.

Oczywiście proces przedstawiony na rys. 4 jest pewnym fragmentem szerszych działań w procesie wytwarzania i pielęgnacji wyrobu.

Przejdźmy teraz do prezentacji kilku przykładów ilustrujących w/w procesy. Zaczniemy od zależności najprostszych, a mianowicie od związków typu łożysko – maszyna. Wpływ własności łożysk (konstrukcja) na poziom drgań wybranych węzłów całej maszyny (eksploatacja) jest tu bardzo wymowny.

Układ łożysko – maszyna. Mała maszyna wirnikowa

W przypadku dynamiki zachodzi sprzężenie własności łożyska z własnościami całej maszyny. Dotyczy to np: takich układów jak: łożyska-wirnik-fundament w przypadku maszyn wirnikowych lub też łożyska-układ korbowy-korpus w przypadku silników spalinowych.



Rys. 5. Ilustracja związków pomiędzy łożyskami i maszyną. Kumulacja obciążeń NW1, NW2 przy łożysku Ł1. Zgodne fazy – rysunek górny i przeciwne fazy – rysunek dolny linia cienka – drgania względne czopa i panwi linia gruba – drgania bezwzględne panwi

Przedstawimy teraz kilka przykładów tego rodzaju związków.

Przyjmijmy do rozważań dwupodporowy układ wirnik-łożyska o średnicy czopów $d = 0,1\text{ m}$, średnicy tarczy wirnika $d = 0,1\text{ m}$, średnicy tarczy łożyska $D = 0,4\text{ m}$ i rozpiętości podpór $L = 1,4\text{ m}$. Przyjmijmy dwa łożyska o szerokości względnej $l/d = 0,5$ z luzem kołowo cylindrycznym o wartości $\Delta R \cong 80 \times 10^{-6}\text{ m}$. Załóżmy teraz, że na układ działają dwie zewnętrzne siły wymuszające (np. siły

niewyważenia) NW1 i NW2 równe co do wartości, lecz przyłożone do układu w różnych miejscach i pod różnym kątem w stosunku do osi poziomej x . Rozważania przeprowadzimy dla jednej tylko prędkości obrotowej wirnika, a mianowicie $n=2972$ obr/min (prędkości w okolicach rezonansu). Wyniki obliczeń drgań takiego układu są dość zaskakujące – rys. 5.

Wydawać by się mogło, iż zgrupowanie obu sił NW1 i NW2 w pobliżu jednego tylko łożyska (np. Ł1) spowoduje bardzo duże jego drgania przy znacznie mniejszych drganiach łożyska położonego po przeciwnej (a więc nieobciążonej) stronie wirnika. Z (rys. 5 górny) wynika, że zarówno drgania względne filmu olejowego jak i panwi są tego samego rzędu. Zmieniając fazę obu sił na przeciwną (rys. 5 dolny) można było z kolei oczekiwać gwałtownego spadku poziomu drgań układu (wskutek wzajemnego znoszenia się obu sił). Tymczasem jest odwrotnie: poziom drgań układu nawet wzrósł.

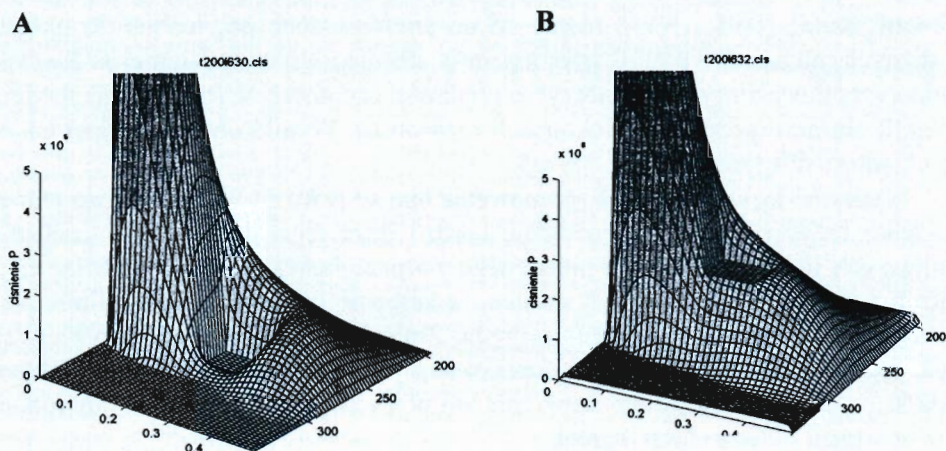
Przebiegów tych nie można przewidzieć na podstawie znanych charakterystyk samych łożysk, a więc bez analizy własności całego układu (w tym przypadku również własności podatnego wirnika) i oczywiście bez analizy komputerowej

W przebiegu trajektorii panwi i czopa, innymi niż można by oczekiwać na podstawie np. „wyczucia” inżynierskiego, kryją się zatem wzajemne sprzężenia łożysk i współpracującej z nimi maszyny. W związkach tych kryje się też filozofia kompleksowej analizy wszystkich podukładów tworzących dany obiekt.

Jeszcze bardziej spektakularny wpływ łożysk można zaobserwować w przypadku wystąpienia niestabilności hydrodynamicznej, a więc wirów i bicia olejowego. Łożyska są w stanie wygenerować zupełnie nowe formy i częstości drgań całego układu. W pewnych przypadkach przyjmują one charakter zdecydowanie dominujący, co oznacza, iż wpływ łożysk można uznać jako jakościowy. Wiry i bicie olejowe są często przyczyną kłopotów eksploatacyjnych maszyn wirnikowych ułożyskowanych ślizgowo. Zagadnień związanych z wirami olejowymi nie będziemy jednakże w niniejszej pracy omawiać. Bliższe informacje są dostępne w pracach [6 + 14].

Rys. 6 przedstawia przykład zastosowania zaawansowanej analizy komputerowej w ocenie własności łożyska ze smarowaniem hybrydowym i „przekoszonymi” panwiami.

Otrzymane przestrzenne rozkłady ciśnienia (za pomocą programu IZOSLEW opracowanego w IMP PAN) umożliwiają ocenę wpływu różnego rodzaju defektów (np.: „przekoszenia” panwi) na pracę układu wirnik-maszyna



Rys. 6. Przykład komputerowej symulacji smarowania hybrydowego łożyska z „przekoszonymi” panwiami. A – ciśnienie lewarowe $p_{lew} = 0$, B – ciśnienie lewarowe $p_{lew} = 2$ MPa.

6. Współczesne wyzwania

Wyjście naprzeciw światowym tendencjom integracyjnym dyscyplin i oprogramowania komputerowego w obszarze budowy i eksploatacji maszyn, a także przyjęcie nowej filozofii wytwarzania i pielęgnacji produktu w myśl zasad projektowania zorientowanego eksploatacyjnie, szeroko rozumianego projektowania współbieżnego i mechatroniki, stanowi największe wyzwanie dla krajowych zespołów badawczych i przemysłowej kadry inżynierskiej.

Z możliwych działań w tym zakresie wymienić tu można:

- unifikacja i standaryzacja metodologii badań oraz systemów informatycznych
- rozwój technologii informatycznych najnowszej generacji, w tym:
 - systemów eksperckich, algorytmów genetycznych, programowania ewolucyjnego
 - wnioskowania i analizy według modelu
- rozwój tradycyjnych narzędzi „inżynierii wirtualnej” w zakresie:
 - analizy stanu
 - monitorowania stanu
 - niezawodności i bezpieczeństwa
- popularyzacja działań w zakresie kompleksowego opisu produktu i jego pielęgnacji w trakcie eksploatacji (metodologia CE, mechatronika).

W/w działania daleko wykraczają poza możliwości pojedynczego zespołu badawczego czy nawet jednego ośrodka. Mają one bowiem charakter wybitnie interdyscyplinarny i wieloetapowy.

Literatura

1. **Kiciński J.:** Teoria i badania hydrodynamicznych łożysk ślizgowych (Theory and Investigations of Journal Bearings), Ossolineum, 1994.
2. **Kiciński J.:** Influence of the Flow Prehistory in the Cavitation Zone on the Dynamic Characteristics of Slide Bearings, Wear, No. 111, 1986.
3. **Kiciński J.:** New Method of Description of Dynamic Properties of Slider Bearings, Wear, No. 132, 1989.
4. **Kiciński J.:** The Influence of Thermoelastic Deformation of Bearing Bush and its External Fixings on Static and Dynamic Properties of Journal Bearings, Part I and II, Transactions of the Institute of the Fluid-Flow Machinery, No. 93, 1991.
5. **Kiciński J.:** Influence of Thermal Phenomena in the Slide Bearings on the Dynamics of a Simple Rotor - Bearings System, Machine Dynamics Problem, vol. 6, 1993.
6. **Kiciński J.:** Symptomy diagnostyczne turbozespołów energetycznych określone metodą komputerowej i analogowej symulacji ich defektów, Materiały Ogólnopolskiego Seminarium nt. Wibrodiagnostyki Turbozespołów Energetycznych, Gdańsk, 25 maja 1994.
7. **Kiciński J., Materny P.:** Modelling of the dynamic interactions of complex rotor – supports system, Machine Dynamics Problems, vol. 5, 1993, p. 7-28.
8. **Kiciński J., Drozdowski R.:** The Simulation Methods in the Rotor - Machinery Diagnostics, The ASME Proceedings, 94-Gt-414, (International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition, The Hague, 1994).
9. **Kiciński J.:** Die Anwendung der rechnergestützten Simulation von Schwingungen des Rotor-Gleitlager-System zum Aufbau von "Intelligenten" Diagnosesystemen, VDI Berichte, Nr. 1109, 1994, 403-416.
10. **Kiciński J.:** Diagnostyka maszyn i procesów technologicznych – Badania eksperymentalne i teoretyczne, Problemy Eksploatacji, 9/94, Radom, 1994, 93-104.
11. **Krzyżanowski J., Kiciński J.:** Komputerowy inteligentny system diagnostyki turbozespołów energetycznych, Materiały Ogólnopolskiego Seminarium „Wibrodiagnostyka Turbozespołów Energetycznych”, Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 1994, 3-23.
12. **Kiciński J.:** Możliwości badań symulacyjnych w zagadnieniach eksploatacji i diagnostyki maszyn, Materiały na Zebranie Naukowe Komitetu Budowy Ma-

- szyn PAN nt. Wybrane Problemy Eksploatacji Systemów Technicznych, Tom I, Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 1993, 39-56.
13. **Kiciński J., Drozdowski R., Materny P.:** The influence of selected parameters on the non-linear vibrations of power turbo-generators. 2nd International Symposium: Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques. Cetim (France), 1995, Vol 1/2, 111-123.
 14. **Kiciński J., Drozdowski R.:** The non-linear analysis of multi support rotor-bearing system, Joint Power Generation Conference PWR-Vol. 28, ASME 1995, vol. 3, 267-274.
 15. **Kiciński J., Haller R.:** Computer optimisation of external fixation initial clamping of a bushing with respect to static and dynamic properties and journal bearings, Transactions of the ASME, 690/vol. 116, October 1994.
 16. **Kiciński J., Materny P.:** Non-linear vibrations in multi degree freedom system on the example of turbine 13K215. An International Conference on Vibration and Noise, Venice, Italy, 1995, 120-127.
 17. **Krzyżanowski J., Kiciński J., Czwiertnia K., Łuniewicz B.:** New simulation methods in the turbomachinery diagnostic, Proceedings of Power-Gen'95 Conference, Amsterdam, May 16-18, 1995, vol. 6 & 7, 259-278.
 18. **Cholewa W., Kiciński J.:** Diagnostyka Techniczna – Odwrotne Modele Diagnostyczne. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Seria Monografie, Gliwice 1997
 19. Praca zbiorowa pod redakcją W. Cholewy i J. Kicińskiego: DT200 – 1. System Diagnostyczny dla Turbozespołów Energetycznych o Mocy 200 MW. Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 1998.
 20. **Cholewa W., Kiciński J.:** Diagnostyka Techniczna – Odwrotne Modele Diagnostyczne. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Seria Monografie, Gliwice 1997.

Богдан Кіндрацький*

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ Й АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ ПНЕВМОПРИВОДІВ З ІНЕРЦІЙНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Запропоновано методологію й алгоритм багатокритеріального оптимізаційного структурно-параметричного синтезу пневматичних приводів з інерційним навантаженням. В їхню основу покладено багаторівневу комбіновану оптимізацію за різними динамічними й математичними моделями з вибором оптимального варіанта на кінцевій стадії проектування за інтегральним показником якості - критерієм сумарної корисності конструкції.

Методи й алгоритми синтезу силових пневмоприводів розроблені достатньо повно [1]. Однак застосувати їх для синтезу пневматичних приводів з інерційним навантаженням неможливо, оскільки одномасна динамічна модель приводу, покладена в основу аналізу та синтезу силових пневмоприводів, не відтворює реальних умов роботи приводів з інерційним навантаженням.

У пневматичних приводах малої вантажопідйомності або із замкнутим кінематичним ланцюгом реакції в ущільненні штока і між поршнем та гільзою пневмоциліндра (ПЦ), а отже, й сили тертя між ними практично не залежать від положення поршня і ними при розрахунках нехтують. У пневмоприводах великої вантажопідйомності з розімкнутим кінематичним ланцюгом нормальні реакції в опорах і сили тертя між поршнем та гільзою ПЦ і штоком та його ущільненням суттєво залежать від положення поршня. Так, наприклад, нормальні реакції та відповідні їм сили тертя в опорах ПЦ при повністю витягнутому штоці й консольному розташуванні вантажу можуть на порядок перевищувати відповідні сили при повністю втягнутому

* Україна, Національний університет "Львівська політехніка"

штоці [2]. Крім цього, внаслідок конструктивних особливостей будови руки маніпулятора, відношення площ поршнів у штоковій F_2 і безштоковій F_1 порожнинах ПЦ сильно відрізняються: $\Pi_{21} = F_2/F_1 = 0,2-0,7$ і менше, що суттєво впливає на характер перехідних процесів при втягуванні й висуненні штока.



Рис. 1. Узагальнена схема алгоритму оптимізаційного синтезу пневмоприводу

Враховуючи суттєві відмінності в роботі пневмоприводу при висуненні й втягуванні штока у процесі синтезу пневмоприводів з інерційним навантаженням, на нашу думку, слід розглядати такі режими роботи:

1. Прямий хід (висунення штока) при $m = m_{min}$;
2. Зворотній хід (втягнення штока) при $m = m_{min}$;
3. Прямий хід при $m = m_{max}$;
4. Зворотній хід при $m = m_{max}$;
5. Позиціювання у проміжній точці робочого ходу.

Розрахунок конструктивних параметрів пневмоприводу, системи керування та пристроїв гальмування й позиціювання штока ПЦ з урахуванням цих режимів дозволить забезпечити ефективну роботу привода з інерційним навантаженням.

У загальному випадку задача оптимізаційного синтезу включає вибір оптимального типу об'єкта (наприклад, пневмоприводи з автономним гальмовим пристроєм, пневмо-гідролічні з об'ємним дозуванням рідини та ін.), його конструктивної схеми (розташування гальмового пристрою, наявність додаткових ланок між гальмовим пристроєм і штоком ПЦ, виду гальмового пристрою) і оптимізацію параметрів об'єкта (геометричні розміри тощо). Тут слід зазначити, що загальна задача оптимізації пневматичних приводів з урахуванням усіх чинників у кінцевому випадку зводиться до визначення значень параметрів об'єкта. Реально існує скінченна кількість типів і конструктивних схем пневмоприводів, завершальну оцінку переваг і недоліків яких можна здійснити лише за конкретизації об'єкта до рівня параметрів. Тому вибір оптимальних типу й конструктивної схеми приводу можна здійснити розв'язанням кількох задач оптимізації (за кількістю типів і конструктивних схем) з урахуванням математичних моделей, які враховують особливості кожного з варіантів.

На основі сказаного вище, пропонуємо таку методологію та алгоритм (рис. 1) багатокритеріального оптимізаційного структурно-параметричного синтезу пневмоприводів з інерційним навантаженням. Як приклад розглянемо пневмопривід лінійного переміщення руки маніпулятора промислового робота.

Оскільки в пневмоприводах з інерційним навантаженням сила опору переміщенню штока ПЦ заздалегідь невідома, то площу поршня треба вибирати з умови переборювання зведеної сили тертя F_m^* у рухомих

з'єднаннях ПЦ при втягуванні штока з вантажем масою $m_{\max}$, розташованим на його вільному кінці (у захваті руки промислового робота).

Площа поршня F_1 у безштоковій порожнині ПЦ і F_2 – у штоковій порожнині визначаються за формулами:

$$F_1 = \frac{\pi D_n^2 n}{4}; \quad F_2 = \frac{\pi(D_n^2 - d^2)}{4}, \quad (1), (2)$$

де D_n і d – відповідно діаметри поршня і штока.

Робочий хід поршня, а отже, довжина консолі штока l , відомі з умов виконання технологічного процесу. Тому, для забезпечення статичної точності позиціонування захвата ПР, діаметр штока ПЦ потрібно визначити з умов забезпечення допустимого прогину $[\Delta]$ центра мас вантажу і допустимого кута повороту $[\theta]$ поперечного перерізу, який проходить через нього:

$$\Delta = \frac{m_{\max} g l^3}{3 E I_x} \leq [\Delta]; \quad \theta = \frac{m_{\max} g l^2}{2 E I_x} \leq [\theta], \quad (3), (4)$$

де $m_{\max}$ – максимальна зведена маса вантажу й захвата ПР; g – пришвидження сили земного тяжіння; E – модуль пружності; l – довжина консолі штока; I_x – осьовий момент інерції штока (для круглого штока $I_x = \pi d^4 / 64$, а за наявності додаткових елементів збільшення жорсткості штока на згин – розраховується відповідно до конструктивної схеми).

Втягування поршня ПЦ відбуватиметься за умови, що

$$p_m F_2 \geq F_m^*, \quad (5)$$

де p_m – тиск повітря у пневматичній магістралі.

З урахуванням (1) і (2) умову (5) перепишемо так:

$$p_m \left(F_1 - \frac{\pi d^2}{4} \right) \geq F_m^*. \quad (6)$$

Звідси отримуємо:

$$F_1 \geq \frac{F_m^*}{p_m} + \frac{\pi d^2}{4}. \quad (7)$$

З умов (3) і (4) при круглому штоці ПЦ маємо:

$$d^2 \geq \sqrt{\frac{64m_{\max}gl^3}{3\pi E[\Delta]}}; \quad d^2 \geq \sqrt{\frac{64m_{\max}gl^2}{2\pi E[\theta]}} \quad (8), (9)$$

Вибираючи більше зі значень d^2 , розрахованих за формулами (8) і (9), та підставляючи їх у (7), з врахуванням (1) отримаємо

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi}}. \quad (10)$$

Отримавши розрахункове мінімальне значення діаметра поршня $D_{\min}$ за формулою (10), вибираємо типорозмір ПЦ з діаметром поршня $D_n \geq D_{\min}$.

Вибір діаметра поршня і типорозміру ПЦ зі статичних умов не забезпечує потрібних характеристик приводу, тому треба провести його динамічний розрахунок, визначивши пропускну спроможність пневмоліній, час спрацювання, закон руху вихідної ланки, вибрати систему керування, розподільні та гальмові пристрої. Враховуючи багатоваріантність режимів роботи пневмоприводу, різноманітність типів і структур, а також широкий вибір систем керування, розподільних і гальмових пристроїв, діапазон зміни конструктивних параметрів, на нашу думку, задачу оптимізаційного синтезу пневмоприводу доцільно розділити на декілька взаємопов'язаних задач з відповідними частковими моделями оптимізації, об'єднавши їх на завершальній стадії оптимізації моделлю вибору кращого з варіантів, отриманих за результатами попередніх стадій оптимізації.

Загалом задачу синтезу пневмоприводу можна сформулювати так: вибрати оптимальний тип, структуру і конструктивні параметри пневмоприводу з інерційним навантаженням для маніпулювання об'єктом масою $m_0 \leq m \leq m_k$ і заданих обмеженнях на характеристики (період циклу, максимальні швидкість і пришвидшення, масу приводу, к.к.д., надійність, технологічність, конкурентноздатність тощо) й конструктивні параметри приводу (діаметри поршня, штока, отворів підведення і відведення повітря та ін.).

Оскільки головним елементом пневмоприводу будь-якого типу й структури є ПЦ, то на першій стадії доцільно провести його оптимізацію за спрощеною динамічною моделлю, сформулювавши задачу оптимізації так: за заданих максимальній масі рухомих ланок пневмоприводу $m_{\max}$, тиску повітря у магістралі p_m , робочому ході s і обмеженнях на час робочого

циклу t_u , максимальні швидкість V_{max} і пришвидження a_{max} поршня за цикл та швидкості поршня у кінці робочого ходу V_k підібрати конструктивні параметри ПЦ так, щоб затрати енергії E на виконання циклу за заданий час були мінімальними.

Математично сформульована задача запишеться так:

$$\psi = \frac{E}{t_u} \rightarrow \min_x \quad x \in D; \quad (11)$$

$$t_u \leq [t_u]; \quad a_{max} \leq [a]; \quad V_{max} \leq [V]; \quad V_k \leq [V_k], \quad (12)$$

де $[t_u]$, $[a]$, $[V]$ $[V_k]$ – допустимі значення, відповідно, періоду циклу, пришвидження і швидкості руху поршня в межах робочого циклу та кінці робочого ходу.

Проектними параметрами при цьому будуть: діаметри поршня D_n і штока d ; ефективні площі лінії підведення f_1^e і відведення f_2^e ; початкові об'єми робочої V_{01} і вихлопної V_{02} порожнин; віддаль між поршнем і ущільненням штока при максимально витягнутому штоці a .

Для визначення тривалості циклу на стадії оптимізації достатньо використати спрощену математичну модель пневмоприводу з консольним розташуванням зведеної маси [2]. Алгоритм розв'язання оптимізаційної задачі (11), (12) можна подати у такому вигляді (рис. 2).

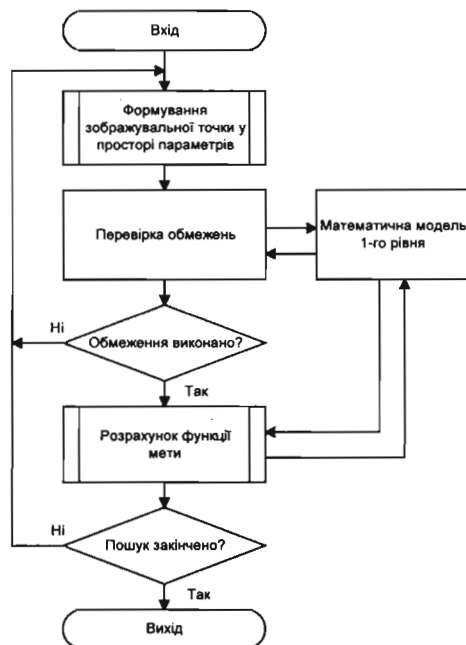


Рис. 2. Схема алгоритму оптимізації приводу за головним критерієм і обмеженнями

На другій стадії оптимізаційного синтезу потрібно вибрати альтернативні типи й структури пневмоприводів (із зовнішнім гальмовим пристроєм, кроковий пневмо-гідравлічний, позиційно відстежувальний тощо), обрати відповідну їм динамічну й математичну моделі. Так, наприклад, уточнені динамічну й математичну модель пневмоприводу з автономним гальмовим пристроєм можна подати у вигляді, наведеному в [3].

Після отримання деякої кількості прототипів пневмоприводу за результатами оптимізацій на попередній стадії можна перейти до розв'язання власне задачі параметричної оптимізації, розглядаючи кожен прототип як початкову точку оптимізації.

На цій стадії задачу оптимізації вже треба розв'язувати не з врахуванням єдиної функції мети, а з врахуванням її реального багатокритеріального характеру. При цьому якість проектного розв'язку характеризується вже не одним числом, а впорядкованим набором (вектором) з k чисел (за кількістю критеріїв оптимізації), кожне з яких є значенням відповідної функції мети.

Подавши функції мети $Q_1, Q_2, \dots, Q_k$ у формі векторного критерію $Q(Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$, задачу оптимізації можна записати так:

$$Q(x^*) = \underset{x \in D}{extr}(Q(x)). \quad (14)$$

На цій стадії критеріями оптимізації можуть виступати період циклу, коефіцієнт корисної дії, габаритні розміри і маса, вартість виготовлення приводу тощо, а обмеженнями – допустимі пришвидшення і швидкість за період робочого циклу, швидкість поршня у кінці ходу, період циклу тощо. Враховуючи, що окремі функції мети $Q_1, Q_2, \dots, Q_k$ відображають якісно різні сторони об'єкта і набувають на різних режимах роботи приводу різних значень, то порівняти варіанти проекту без залучення додаткових критеріїв переваги неможливо.

У результаті розв'язання багатокритеріальної задачі оптимізації (14) ми отримаємо множину ефективних альтернатив (варіанти приводу, які неможливо покращати одночасно за кількома критеріями оптимізації). Така множина може містити достатньо велику кількість ефективних альтернатив (навіть безмежну), тому для порівняння цих альтернатив доцільно побудувати єдиний скалярний критерій (інтегральний показник якості), що включає складові векторного критерію Q і порівняти варіанти проекту. З цією метою нами розроблено й апробовано метод параметричного синтезу пневмопривідного модуля (та інших механізмів) за критерієм сумарної корисності [4]. Фрагмент алгоритму розв'язання задачі на цій стадії зображений на рис. 3. Визначивши оптимальні параметри і структуру пневмоприводу певного типу, аналогічно проводимо оптимізацію альтернативних пневмоприводів інших типів (за кількістю обраних прототипів).

Цілком очевидно, що кожен тип пневмоприводу, оптимізований на другій стадії, матиме свої характеристики якості, які на різних режимах роботи приводу набуватимуть різних значень (лише в ідеальному випадку один з приводів може переважати інші за усіма критеріями і на всіх режимах роботи одночасно), тому виникає потреба вибрати кращий з альтернативних варіантів пневмоприводів різних типів.

На третій стадії оптимізації до вже обраних критеріїв якості з метою комплексної оцінки приводів доцільно долучити нові критерії оптимальності, які характеризують технологічність, надійність і конкурентноздатність пневмоприводу. Такими критеріями, на нашу думку, можуть бути коефіцієнт

уніфікації, середнє напрацювання до відмови, інтегральний коефіцієнт конкурентоспроможності товару тощо.

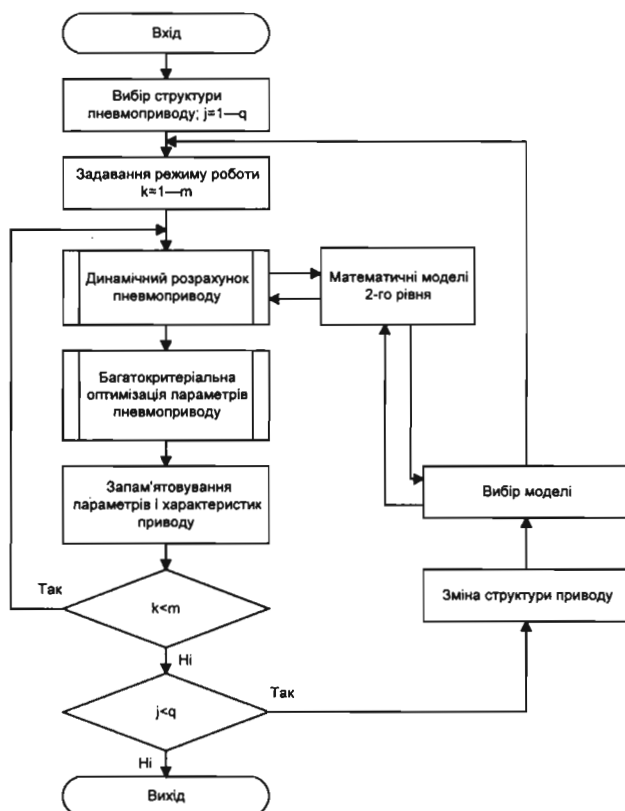


Рис. 3. Схема алгоритму багатокритеріальної оптимізації приводу

Оскільки на цій стадії оптимізації у якості альтернативних варіантів виступають різні типи пневмоприводів з певними характеристиками, то вибір кращого з них доцільно проводити безпосереднім перебиранням варіантів, порівнюючи їх за інтегральним критерієм якості. Кращим приводом вважатиметься той, для якого інтегральний показник якості

$$u(S^*) = \max u(S_j), \quad (15)$$

де S^* – пневмопривід з найкращими характеристиками; S_j – альтернативні варіанти пневмоприводу.

Схема алгоритму вибору кращого з пневмоприводів, отриманих за результатами оптимізації на другій стадії, зображена на рис. 4. На цій стадії для розрахунку інтегрального критерію якості – сумарної корисності пневмоприводу – доцільно застосувати основні положення теорії функціональної корисності, а для призначення вагових коефіцієнтів режимів роботи приводу і чинників – метод експертних оцінок, наприклад метод Дельфі.

Отже, провівши тривірневу оптимізацію пневмоприводу за різними математичними моделями і критеріями на кожній зі стадій проектування, можна проаналізувати різні типи й структури пневмоприводів на різних режимах роботи, обравши найкращий з них за багатьма різноплановими й протирічливими критеріями якості.

Запропоновані методологія й алгоритм оптимізаційного синтезу пневмоприводів з інерційним навантаженням є відкритими й передбачають можливість зміни моделей приводів, критеріїв оптимізації, методів пошуку оптимальних розв'язків, що робить їх універсальними й придатними для удосконалення і модифікації.



Рис. 4. Схема алгоритму вибору кращого варіанту пневмоприводу за критерієм сумарної корисності

ЛІТЕРАТУРА

1. Герц Е. В. Динамика пневматических систем машин. – М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
2. Кіндрацький Б. І., Бервецький Г. Ю. Вплив тертя у кінематичних парах пневмопривідного модуля на його динамічні характеристики // Вісник Держ. ун-ту „Львівська політехніка” „Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. № 354. 1998. С. 10-14.
3. Киндрацкий Б. И.: Пневматический модуль с позиционной системой управления -конструкция и расчет // Proc. of the 11-th Conference on the Problems of Engineering Machines Development. Vol. 2. Gliwice-Zakopane. 1998, С. 181-188.

4. **Кіндрацький Б. І.:** Про параметричний синтез пневмопривідного модуля за критерієм сумарної корисності // Вісник Держ. ун-ту „Львівська політехніка” „Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. № 376. 1999. С. 17-20.

METHODOLOGY AND ALGORITHM OF MULTICRITERIA OPTIMIZATION STRUCTURAL - PARAMETRIC SYNTHESIS OF PNEUMATIC DRIVES

Abstract: The methodology and algorithm of multicriteria optimization structural - parametric synthesis of pneumatic drives with a slugged loading is offered. In their basis is put multilevel combined optimization on different dynamic and mathematical models with trade - off on a final design stage behind an integrated figure of merit - by measure of aggregate usefulness of a construction

Sławomir Kłos*

PROCEDURA WERYFIKACJI KONTRAHENTÓW W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM ZARZĄDZANYM PRZEZ PROJEKT

Streszczenie: W artykule przedstawiono procedurę doboru kontrahentów w przedsiębiorstwie wirtualnym zarządzanym przez projekt. Procedura została opracowana w oparciu o metodę ścieżki krytycznej i o model formalny opisujący przedsiębiorstwo wirtualne. Przedstawiona procedura stanowi element systemu wspomagania decyzji syntezy przedsiębiorstwa wirtualnego z sieci powiązań biznesowych, celowo zorientowanego na realizację określonego zlecenia-projektu.

1. Wprowadzenie

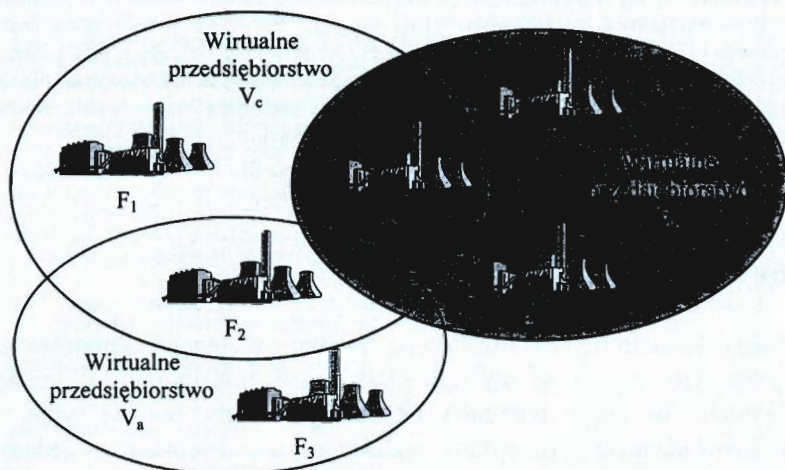
Globalna konkurencja i gwałtowne zmiany wymagań klientów stanowią główną przyczynę zmian w stylach produkcji i konfiguracji przedsiębiorstw przemysłowych. W ciągu ostatnich lat nastąpił nagły rozwój wielu nowych koncepcji prowadzących do zmiany wizerunku przedsiębiorstw. Jedną z form organizacyjnych, do której ewoluują przedsiębiorstwa są tzw. korporacje wirtualne. Wirtualizacja przedsiębiorstw jest z jednej strony silnie determinowana poprzez gwałtowny rozwój technologii informatycznych (ang. IT – Information Technology), z drugiej strony wynika z konieczności przystosowania się do nieoczekiwanych zmian koniunktury na rynku, skracania cykli produkcyjnych i redukcji kosztów stałych.

Wirtualność organizacji została zdefiniowana [4] jako „*zdolność organizacji do permanentnego utrzymywania i koordynowania kluczowych kompetencji w zakresie projektowania procesów biznesowych zwiększających wartość dodaną i zarządzania mechanizmami, obejmującymi zewnętrzne i wewnętrzne składowe, które umoż-*

* Instytut Inżynierii Produkcji i Materiałoznawstwa, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra,

liwiają dostarczenie zróżnicowanych wartości dających przewagę w określonym segmencie rynku. Charakterystyczne dla wirtualnego przedsiębiorstwa jest to, że jest ono tworzone na potrzeby danego zlecenia-projektu i istnieje, aż do zakończenia jego realizacji. Akceptacji warunków realizacji zlecenia-projektu przez klienta stanowi podstawę do zawiązania przedsiębiorstwa wirtualnego. Proces tworzenia przedsiębiorstwa wirtualnego powinien prowadzić do utworzenia struktury powiązanych procesów logistycznych i biznesowych dedykowanych do realizacji konkretnego przedsięwzięcia.

Rozważmy zbiór N przedsiębiorstw $\Psi = (F_1, F_2, \dots, F_N)$, powiązanych ze sobą i tworzących sieć powiązań biznesowych [1],[3]. W ramach sieci powiązań biznesowych może funkcjonować wiele przedsiębiorstw wirtualnych V_j (Rys. 1).



Rys. 1. Sieć powiązań biznesowych jako podstawa budowy przedsiębiorstwa wirtualnego

Główną cechą związków zachodzących w sieci powiązań biznesowych jest wymiana danych o zasobach, których cena i dostępność zmieniają się w czasie. Sieć powiązań biznesowych ma charakter dynamiczny, i zmienia się wraz z przyłączaniem nowych firm, potencjalnych składowych wirtualnych przedsiębiorstw. Realizacja sieci powiązań biznesowych opiera się na budowie interfejsów łączących systemy ERP poszczególnych firm w taki sposób, aby możliwy był dostęp do danych np. o poziomie wykorzystania ich zasobów. Mechanizm formowania wirtualnej organizacji nie może odbiegać od mechanizmów rządzących na rynku i opartych o zasady wolnej konkurencji. Udostępnianie zasobów przez firmy two-

rzące wirtualne przedsiębiorstwo, w zależności od ich rodzaju, powinno odbywać się poprzez ich sprzedaż lub dzierżawę na określony czas. Wówczas mechanizmy wolnego rynku obowiązujące w ramach sieci Ψ będą prowadzić do jej ciągłego rozwoju i wyboru konkurencyjnych wariantów. Ponieważ obciążenie zasobów oraz ich dostępność są zmienne w czasie, zmieniać się będzie również koszt wykorzystania zasobów w poszczególnych firmach włączonych do sieci [2].

Celem prowadzonych badań jest opracowanie metodyki budowy przedsiębiorstwa wirtualnego celowo zorientowanego na realizację zlecenia-projektu. Opracowana procedura umożliwia szybkie wariantowanie struktury przedsiębiorstwa wirtualnego, która zagwarantuje terminową realizację zlecenia-projektu przy założonych kosztach. Główny problem rozważany w tym artykule można sformułować następująco: *Dana jest sieć powiązań biznesowych Ψ obejmująca N firm, które udostępniają swoje zasoby produkcyjne i materiałowe, oraz zlecenie-projekt przeznaczone do realizacji. Jakie warunki muszą spełniać firmy wchodzące w skład przedsiębiorstwa wirtualnego, aby zagwarantować terminową realizację zlecenia-projektu przy zadanych kosztach?*

W artykule tym zaproponowano procedurę wariantowej oceny możliwości realizacji zlecenia-projektu w przedsiębiorstwie wirtualnym pod względem terminowo-kosztowym opartą na odpowiednim doborze kontrahentów. Przedstawiona procedura została opracowana w oparciu o metodę ścieżki krytycznej i algebraiczny model przedsiębiorstwa wirtualnego. Umożliwia ona syntezę przedsiębiorstwa wirtualnego gwarantującego realizację zlecenia w określonym terminie i po określonych kosztach.

2. Model algebraiczny

Rozważmy następujący przykład. Pewien koncern samochodowy ogłosił przetarg na wykonanie specjalizowanego urządzenia do obróbki cieplnej metali, które wejdzie w skład zautomatyzowanej linii produkcyjnej do wytwarzania silników nowej generacji. Aby dokonać oceny opłacalności realizacji powyższego zlecenia pod względem czasowo-kosztowym oraz dokonać doboru firm, które wejdą w skład przedsiębiorstwa wirtualnego należy zbudować model formalny który umożliwi opis wirtualnej korporacji i zlecenia przeznaczonego do wykonania. Dla potrzeb budowy formalnego modelu opisującego przedsiębiorstwo wirtualne i zlecenie-projekt zdefiniowano następujące składowe modelu.

- *Macierzą ograniczeń kolejnościowych M_{G_j} , nazywamy macierz o wymiarach $G_j \times G_j$ (gdzie G_j jest liczbą wierzchołków grafu ograniczeń kolejnościowych, opi-*

sujących kolejność wykonywania operacji, realizujących zlecenie O_j), której elementy przyjmują wartości:

$$g_{kl} = \begin{cases} i - \text{numer operacji,} \\ 0 - \text{jeżeli operacja nie występuje,} \end{cases}$$

gdzie $k, l = 1, 2, \dots, G_j$

- *Macierzą zasobów materiałowych* M_M nazywamy macierz binarną o wymiarach $N \times J$ (gdzie N liczba firm, zaś J liczba indeksów materiałowych sieci powiązań biznesowych Ψ), której elementy m_{ij} $i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, J$ przyjmują następujące wartości:

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{jeżeli materiał jest dostępny w firmie } F_i, \\ 0 - \text{w przeciwnym wypadku,} \end{cases}$$

Indeks m_i gdzie $i = 1, 2, \dots, J$ określa indeks zasobu materiałowego w sieci powiązań biznesowych Ψ bez przydziału do firmy włączonej do sieci.

- *Klasą zasobów produkcyjnych* nazywany jest zbiór zasobów produkcyjnych C_p $p \in (1, 2, \dots, L)$, które mogą być stosowane zamiennie w trakcie realizacji pewnego zlecenia-projektu.

W celu określenia ile zasobów należących do danej klasy jest dostępnych w przedsiębiorstwie stworzono macierz klas zasobów produkcyjnych M_Ψ .

- *Macierzą klas zasobów produkcyjnych* M_Ψ sieci Ψ , nazywamy macierz o wymiarach $N \times L$ (gdzie N jest liczbą firm należących do sieci powiązań biznesowych Ψ , zaś L liczbą klas zasobów produkcyjnych), której elementy r_{ij} określają liczbę zasobów klasy C_j w przedsiębiorstwie F_i .
- *Zasobem produkcyjnym* $R_{ij}(C_p)$ nazywamy maszyny i urządzenia wraz z obsługą, konstruktorów, technologów, i inne służby w firmach konieczne do realizacji pewnego zlecenia-projektu gdzie $i = 1, 2, \dots, N$, a N -liczba firm włączonych do sieci powiązań biznesowych, zaś $j = 1, 2, \dots, r_{ip}$ gdzie r_{ip} – liczba zasobów klasy C_p dostępnych w firmie F_i (odpowiedni element macierzy M_Ψ).

Zasoby produkcyjne, które mogą być stosowane zamiennie (np. takie, które spełniają podobne funkcje technologiczne) należą do tzw. klas zasobów produkcyjnych C_p .

W celu oceny opłacalności realizacji zlecenia pod względem terminu realizacji i kosztów niezbędne jest udostępnienie danych dotyczących kosztów wykorzystania zasobów w sieci powiązań biznesowych w postaci dyskretnej funkcji kosztów wykorzystania zasobów.

- *Dyskretną funkcją kosztów wykorzystania zasobów produkcyjnych* nazywamy funkcję postaci $F_i(R_{ij}(C_p), t)$, gdzie t określa dyskretną chwilę czasu, a $R_{ij}(C_p)$, określa zasoby produkcyjne firmy F_i . Dyskretna funkcja kosztów wykorzystania zasobów firmy F_i może przyjmować następujące wartości:

$$F_i(R_{ij}(C_p), t) = \begin{cases} \kappa - \text{koszt wykorzystania jednostki materiału w chwili } t \\ 0 - \text{zasób jest niedostępny w chwili } t \end{cases}$$

Koszty wykorzystania zasobów w trzech różnych przedsiębiorstwach są różne ze względu na różne obciążenie zleceniami w rozważanym okresie czasu. Różnica ta wynika np. z różnych kosztów stałych poszczególnych firm lub z konieczności wykorzystywania zasobów w godzinach ponadnormatywnych. Podobnie jak koszty wykorzystania zasobów produkcyjnych zmieniają się ceny zasobów materiałowych, których koszt wykorzystania określa dyskretna funkcja kosztów wykorzystania materiałów.

- *Dyskretną funkcją kosztów wykorzystania materiałów* nazywamy funkcję postaci $F_i(m_{ij}, t)$, gdzie t określa dyskretną jednostkę czasu, a m_{ij} , określa zasoby produkcyjne firmy F_i . Dyskretna funkcja kosztów wykorzystania zasobów firmy F_i może przyjmować następujące wartości:

$$F_i(m_{ij}, t) = \begin{cases} \kappa - \text{koszt wykorzystania zasobu w chwili } t \\ 0 - \text{zasób jest niedostępny w chwili } t \end{cases}$$

Kluczowymi parametrami opisującymi wyroby realizowane w ramach zleceń jest kolejność operacji prowadzących do realizacji zlecenia i materiały zużyte podczas ich realizacji. W celu algebraicznego opisu struktury przedsięwzięć i potrzebnych materiałów zastosowano macierze ograniczeń kolejnościowych, obciążeń zasobów produkcyjnych i wykorzystania materiałów.

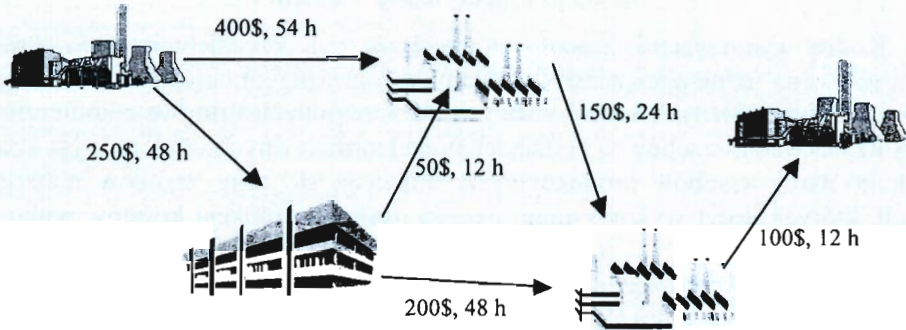
- *Macierzą obciążeń zasobów produkcyjnych M_{Cp}* nazywamy macierz o wymiarach $L \times H_j$ (gdzie L jest liczbą klas zasobów produkcyjnych, zaś H_j jest liczbą operacji na zasobach produkcyjnych konieczną do wykonania zlecenia O_j), której elementy c_{ik} ($i = 1, 2, \dots, J$; $k = 1, 2, \dots, H_j$) przyjmują wartości:

$$c_{ik} = \begin{cases} c - \text{określa czas obciążenia zasobu produkcyjnego klasy } C_i \\ \quad \text{podczas wykonywania } k\text{-tej operacji,} \\ 0 - \text{jeżeli operacja nie występuje lub zasób nie jest zużywany,} \end{cases}$$

- *Macierzą wykorzystania materiałów M_{Mj}* nazywamy macierz o wymiarach $J \times H_j$ (gdzie J jest liczbą indeksów materiałowych, zaś H_j jest liczbą operacji na za-

sobach produkcyjnych konieczną do wykonania zlecenia O_j), której elementy m_{ik} ($i = 1, 2, \dots, J$; $k = 1, 2, \dots, H_j$) przyjmują wartości:

$$m_{ik} = \begin{cases} m - \text{określa normę brutto jednostek materiału } m_i \\ \text{koniecznego do realizacji } k\text{-tej operacji zlecenia } O_j, \\ 0 - \text{operacja nie występuje lub mat. nie jest używany,} \end{cases}$$



Rys. 2. Zależności czasowo kosztowe w procesie obsługi logistycznej zlecenia

Trudność w oszacowaniu kosztów i czasu realizacji zlecenia-projektu w przedsiębiorstwie wirtualnym stanowi geograficzne rozproszenie potencjalnych realizatorów zlecenia (patrz Rys. 2). Dla potrzeb opisu tych zależności zdefiniowano macierze logistyki kosztów i czasu obsługi przedsięwzięcia.

- *Macierzą kosztów obsługi logistycznej* M_{Kj} zlecenia O_j , nazywamy symetryczną macierz o wymiarach $N \times N$ (gdzie N jest liczbą przedsiębiorstw należących do sieci powiązań biznesowych Ψ), której elementy v_{ij} przyjmują wartości równe kosztom obsługi logistycznej pomiędzy firmami F_i i F_j .
- *Macierzą czasów obsługi logistycznej* M_{Tj} zlecenia O_j , nazywamy symetryczną macierz o wymiarach $N \times N$ (gdzie N jest liczbą przedsiębiorstw należących do sieci powiązań biznesowych Ψ), której elementy T_{ij} przyjmują wartości równe czasom obsługi procesu logistycznego pomiędzy firmami F_i i F_j .

Zlecenie-projekt realizowane w przedsiębiorstwie wirtualnym opisano jako:

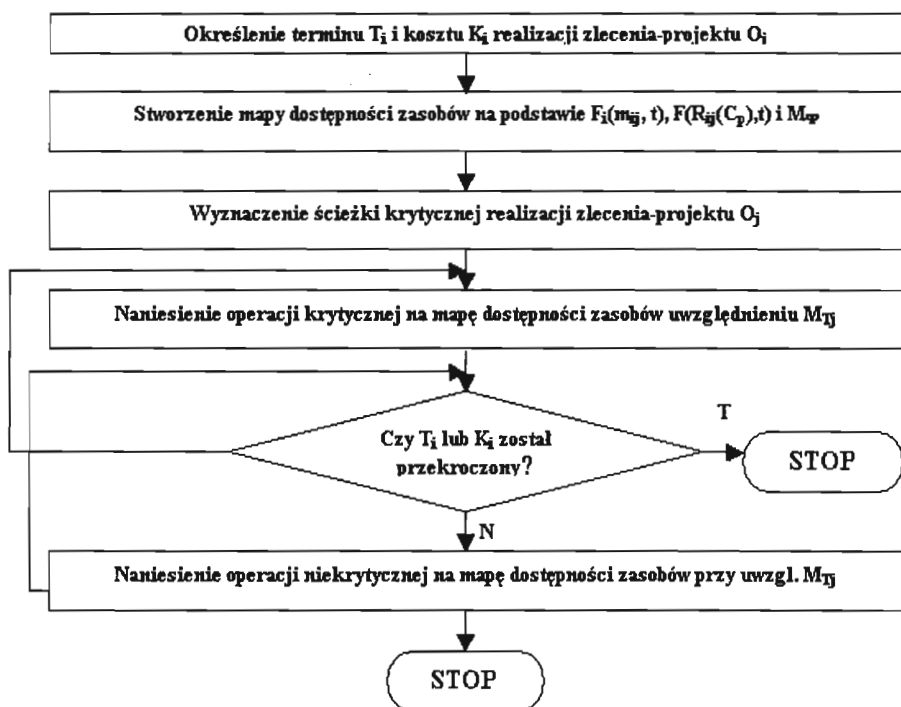
- *Zleceniem* O_j , nazywamy ósemkę $O_j = [T_{Ej}, K_j, H_j, M_{Gj}, M_{Cj}, M_{Mj}, M_{Kj}, M_{Tj}]$:
 T_j – okres realizacji zlecenia-projektu O_j ,
 K_j – całkowity koszt realizacji zlecenia O_j ,
 H_j – liczba operacji na zasobach prod. konieczna do wyk. zlecenia O_j ,
 M_{Gj} – macierz ograniczeń kolejnościowych,

- M_{Cj} – macierz obciążeń zasobów produkcyjnych,
 M_{Mj} – macierz wykorzystania materiałów,
 M_{Kj} – macierz kosztów obsługi logistycznej zlecenia O_j ,
 M_{Tj} – macierz czasów obsługi logistycznej zlecenia O_j

W oparciu o przedstawiony model formalny opisujący parametry przedsiębiorstwa wirtualnego i zlecenie-projekt opracowano procedurę weryfikacji kontrahentów.

3. Procedura weryfikacji kontrahentów

Aby rozpocząć proces tworzenia przedsiębiorstwa wirtualnego należy sprawdzić warunki opłacalności realizacji zlecenia-projektu. Przyjętymi kryteriami oceny zlecenia są: czas i koszt realizacji. Na Rys 3. przedstawiono procedurę weryfikacji kontrahentów w przedsiębiorstwie wirtualnym opartą na doborze zasobów produkcyjnych i materiałowych, przy uwzględnieniu kosztów obsługi logistycznej.



Rys. 3. Zależności czasowo kosztowe w procesie obsługi logistycznej zlecenia

Przedstawiona procedura prowadzi do wyznaczenia zasobów, które mogą zostać użyte do terminowej realizacji zlecenia-projektu przy zadanych kosztach. Ponieważ zasoby są powiązane z kontrahentami poprzez macierze M_M i M_Ψ oraz dyskretne funkcje kosztów wykorzystania zasobów, pomyślnie zakończenie procedury daje zbiór wariantów przedsiębiorstw wirtualnych umożliwiających realizację zlecenia O_j .

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono procedurę wyboru kontrahentów dla realizacji zlecenia-projektu w przedsiębiorstwie wirtualnym zarządzanym przez projekt. Opracowano model algebraiczny opisujący przedsiębiorstwo wirtualne oraz realizowane zlecenie. Procedura wymaga wygenerowania mapy dostępności zasobów oraz wyznaczenia harmonogramu realizacji zlecenia w oparciu o metodę ścieżki krytycznej. Zaproponowane warunki oceny możliwości realizacji zlecenia-projektu w przedsiębiorstwie wirtualnym uwzględniają dynamiczne zmiany kosztów wykorzystania zasobów w czasie. Przedmiotem dalszych badań jest uwzględnienie czasów i kosztów logistycznej obsługi zlecenia-projektu w przedsiębiorstwie wirtualnym oraz kosztów i terminów dostaw materiałów.

Literatura

1. **Franke U.J.:** The concept of Virtual Web Organizations and its implications on changing Market Conditions, *Electronic Journal of Organisational Virtualness*, Vol 3, No. 4, 2001, s. 43-63,
2. **Kłos S.:** Obsługa zleceń w przedsiębiorstwie wirtualnym, *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*. T. 1: IV Konferencja, Warszawa: Wydaw. Naukowo-Techniczne, 2001, s. 343-348.
3. **Sieber P.:** Organisational Virtualness-The Case of Small IT Companies, *Proceeding of the Virtual OrganisationNet-Workshop*, April 27-28, s. 107-122.
4. **Venkatraman N., Handerson C.:** The architecture of virtual organizing: leveraging three independent vectors. Discussion Paper, System Research Center, Boston University, School of Management, 1996.

**A PROCEDURE OF VERIFICATION OF TRANSACTORS
IN THE MANUFACTURING ENTERPRISE
MANAGED BY PROJECT**

Abstract: The concept of a Virtual Corporation enables to utilize effectively capabilities offered by the component firms. A main problem the decision maker has to face with is how to exam whether a given production order can be completed due a date and not exceeding the assumed production cost constraints. The formal model of a consumer-producer system is discussed. The Critical Path Method based framework is applied as to approach to the above mentioned decision problem. On a base of a map of resources-cost accessibility and a project-order schedule the procedure for balancing of a system capability with the requirements imposed by the production order completion are derived.

Кондрат З. *, Литвиненко А. А. **, Некоз А. И. **, Сухенко Ю. Г. **

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

Содержание: В статье представлены результаты анализа технической информации и практического опыта авторов по использованию кавитационных эффектов при утилизации некоторых отходов.

Ключевые слова: кавитация, кавитационные эффекты, утилизация, отходы.

Проблема переработки и утилизации жидких промышленных отходов с каждым годом становится всё более актуальной. Однако, традиционные методы и технологии не всегда обеспечивают необходимое качество обработки отходов, что приводит к загрязнению окружающей среды или необходимости использования дополнительного оборудования.

Авторами проведен анализ технологических и технических решений, для реализации которых перспективны кавитационные технологии. Они обеспечиваются использованием гидродинамических кавитационных аппаратов (ГКА), где режимы развитой кавитации являются нормальными расчётными режимами работы.

Интенсификация технологических процессов обработки в ГКА связана с физико-механическими эффектами, возникающими при коллапсе кавитационных пузырьков, которые целенаправленно генерируются в рабочей камере аппарата. Высокие ударные давления при большой концентрации пузырьков в рабочей камере способствует ускорению массообменных процессов, повышают химическую активность обрабатываемых компонентов, степень их диссоциации и т.п. Кроме того, конструкция ГКА позволяет вводить в технологический поток жидкие и газообразные реагенты.

* Политехника Белостокская (Польша)

** Национальный университет пищевых технологий (Киев, Украина)

По-нашему мнению, применение ГКА перспективно, в частности, в технологиях очистки сточных вод, загрязнённых тяжёлыми металлами и органикой, утилизации жидких токсичных веществ, отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), некондиционных мазутов.

При очистке сточных вод, загрязнённых ионами тяжёлых и цветных металлов (хром, никель, кадмий, железо и т.п.) ГКА могут использоваться для ввода и перемешивания реагентов. Теоретические расчёты, подтверждённые лабораторными исследованиями показали, что скорость реакций в ГКА нейтрализации и осаждение увеличивается почти вдвое.

Проведённые авторами лабораторные исследования по очистке стоков гальванических производств с помощью известкового молока (водная суспензия $\text{Ca}(\text{OH})_2$) в ГКА и в реакторе с механической мешалкой показали, что при одинаковом соотношении компонентов (97,1% сточной воды и 2,9% реагента) глубина реакции нейтрализации при обработке осадков в ГКА выше. Кроме того, дисперсность осадков компонентов, обработанных в ГКА, выше, чем дисперсность осадков, полученных при их механическом перемешивании. Осаждение частиц твёрдой фазы после реакции в ГКА происходит быстрее, чем после реакции в реакторе с мешалкой. Результаты хроматографического анализа очищенной разными способами сточной воды показывают, что в воде, обработанной известковым молоком в ГКА, содержание ионов хрома (VI), железа (II), меди не установлено, а при обработке механическим перемешиванием составляет соответственно 0,1, 0,5 и 0,8 мг/л.

Для очистки сточных вод от соединений хрома авторами предложен способ обработки воды в ГКА железным шламом, образующимся при фильтровании СОЖ металлообрабатывающих производств [1]. Он предусматривает восстановление хрома (VI) до хрома (III) в кислой среде с последующей нейтрализацией и извлечением гидрооксида хрома. При этом операции восстановления и нейтрализации осуществляют также в последовательно установленных ГКА.

Известно, что при использовании традиционных схем озонирования воды потери реагента могут достигать 20%, что обуславливает его нерациональное использование и возможность загрязнения окружающей среды. Применение ГКА существенно снижает эти потери благодаря образованию в рабочей камере аппарата мелкодисперсной окислительной смеси с большой межфазной поверхностью. Метод кавитационного окисления озоном и другими реагентами может быть с успехом применён для очистки сточных вод от токсичной органики и нефтепродуктов [2]. При этом происходит дезодорация и осветление воды, эффект очистки составляет

более 90%, а расход реагентов приближается к теоретическому. При использовании ГКА из типовой технологической схемы возможно исключение абсорберов (барботажных, насадочных, механических), которые характеризуются высокой металло- и энергоёмкостью. Аналогичные преимущества ГКА проявляются при использовании других окислителей – перекиси водорода, перманганата калия и т.п.

Для очистки воды от больших количеств нефтепродуктов, взвешенных грубо- и мелкодисперсных примесей, жидкоподобных веществ ГКА перспективны в качестве аэзатора для насыщения загрязнённой воды воздухом для последующей флотации. Установлено, что степень очистки при этом достигается 95...98%, что сравнимо с вакуумными и напорными флотаторами, но не требует громоздкого оборудования (вакуум-аппаратов, напорных резервуаров, компрессорных станций). При этом, типовые флотаторы очищают воду хуже.

Для утилизации способом сжигания жидких токсичных веществ и отходов смазочно-охлаждающих жидкостей ("огневой метод") ГКА могут использоваться для получения стабильных мелкодисперсных топливных композиций на основе их смешивания в ГКА с мазутом. При их сжигании в топках котлоагрегатов не происходит срыв факела на форсунке, экономится товарный мазут, улучшаются экологические показатели. Нами предложен и реализован способ утилизации некондиционных мазутов, который предусматривает предварительную очистку и кавитационную обработку отходов. Они смешиваются в ГКА с кондиционным мазутом в соотношении 1:5 в режиме циркуляции. Подготовленную смесь подают на сжигание на форсунки котельного агрегата [3]. Реализация этого способа позволяет улучшить экологическую ситуацию на предприятии и сэкономить качественный товарный мазут.

ГКА имеют большую производительность, низкую энерго- и материалоёмкость, высокую надёжность, отличаются простотой обслуживания. Их внедрение не требует значительных затрат на строительство помещений и трудозатрат на обслуживание по сравнению с комплексом типового технологического оборудования. Однако, недостаточность теоретических и экспериментальных исследований процесса утилизации отходов с использованием кавитационных эффектов, требуют дальнейшего углубления и изучения этого направления.

Литература

1. **Патент 32228.** Украины. Способ очистки сточных вод от соединений хрома / А. А. Литвиненко, А.И. Некоз, З. Кондрат, С.А. Некоз. – Опубл. 15.12.2000. Бюл. №7-II (на украинском языке).
2. **Litwinenko A. A., Nekoz A. I., Kondrat Z.:** Badanie możliwości zastosowania hydrodynamicznych aparatów kawitacyjnych w technologiach oczyszczania wody. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. 2001. 138 (Z.8). – s. 323-330.
3. **Литвиненко А.А., Некоз А.И., Скобель Л.В.:** Утилизация отходов мазутных хозяйств предприятий пищевой промышленности Научные труды Украинского государственного университета пищевых технологий. – 2001. – №10. – с. 32-33 (на украинском языке).

APPLICATION OF CAVITATION EFFECTS FOR UTILIZATION OF WASTE

Abstract: The article represents the analysis of technical information and authors practice experience about use of cavitation effects for utilization of some waste.

Henryk Konopko*

ANALIZA METOD OBLICZANIA ORAZ ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH SUSZAREK PNEUMATYCZNYCH

Streszczenie: Przedstawiono uproszczoną inżynierską oraz iteracyjną metodę obliczania podstawowych parametrów suszarek pneumatycznych. Druga z nich umożliwia dokładne określenie ich wymiarów. Dokonano również analizy rozwiązań konstrukcyjnych tych suszarek. Stwierdzono, że obecnie bardzo rzadko są stosowane klasyczne ich rozwiązania. Znaczna część prac teoretycznych, a także projektów dotyczy suszarek ze zmienną średnicą rury. Umożliwiają one wydłużenie czasu suszenia i uzyskanie mniejszej zawartości wody w produkcie.

1. Wprowadzenie

Suszenie w suszarce pneumatycznej zachodzi przy dużej prędkości gazu. Podstawowym warunkiem, jaki musi być spełniony dla uzyskania transportu suchych cząstek materiału, jest bowiem zastosowanie prędkości powietrza większej od ich prędkości zawisania. Powoduje to skrócenie czasu przebywania cząstek w rurze transportowej do rzędu sekund, a niejednokrotnie nawet poniżej 1 sekundy. W tych warunkach również zmiana zawartości wody w surowcu jest niewielka. W związku z tym suszarki te stosuje się zwykle dla usunięcia wody znajdującej się na powierzchni cząstek. W przypadku, gdy konieczne jest usunięcie również wody znajdującej się wewnątrz cząstek należy zastosować specjalne rozwiązania konstrukcyjne suszarek pozwalające wydłużyć czas zachodzenia wymiany ciepła i masy.

Obliczanie takich suszarek jest stosunkowo złożone. Podstawową trudnością jest zmienność właściwości obu uczestniczących w procesie faz, a także innych

* Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45c, 15-351 Białystok

parametrów procesu. Poza tym cząstki surowca stanowią mieszaninę polidyspersyjną, a więc zachowują się w zróżnicowany sposób podczas transportu pneumatycznego. Istnieją więc w literaturze [14] opinie, że brak jest niezawodnych metod ich projektowania.

Przedmiotem pracy jest analiza metod projektowania takich suszarek oraz ich rozwiązań konstrukcyjnych.

2. Analiza metod obliczania suszarek pneumatycznych

2.1. Uprozczone inżynierskie metody obliczeń

W obliczeniach inżynierskich operuje się najczęściej uśrednionymi wartościami: prędkości cząstek, różnicy temperatur powietrza i cząstek, zawartości wody w cząstkach, a także współczynników wymiany ciepła i masy.

W niedalekiej przeszłości nieodzowną do obliczenia strumienia powietrza prędkość zawisania suszonych cząstek wyznaczano z kryterialnej zależności Tode-sa [1]:

$$Re_z = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}} \quad (1)$$

$$Ar = \frac{gd_{s,e}^3 \rho_p (\rho_s - \rho_p)}{\mu_p^2} \quad (2)$$

gdzie:

- g – przyspieszenie ziemskie, m/s^2
- $d_{s,e}$ – ekwiwalentna średnica cząstek, m
- ρ_p – gęstość powietrza, kg/m^3
- ρ_s – gęstość fizyczna cząstek, kg/m^3
- μ_p – lepkość dynamiczna powietrza, $N \cdot s/m^2$

Kolejnym krokiem w obliczeniach suszarki pneumatycznej jest ustalenie prędkości powietrza, a następnie strumienia jego masy. Prędkość powietrza musi mieć taką wartość, aby nawet największe cząstki surowca były w niej transportowane. Dlatego oblicza się ją ze wzoru:

$$v_p = \phi_p v_z \quad (3)$$

gdzie:

v_p – prędkość powietrza, m/s

ϕ_p – współczynnik nadmiaru powietrza, –

v_z – prędkość zawisania cząstek, m/s

Współczynnik nadmiaru powietrza poleca Ginzburg [2] przyjmować jako równy 1,25-1,5 dla dużych ($d_{se} > 1$ mm) cząstek. Frolov [1] uzależnia wartość tego współczynnika również od średnicy rury. Dla rur o małych średnicach można według niego przyjąć wartość współczynnika wynoszącą 1,6-1,7, natomiast dla dużych – 1,9-2,0. Podstawiana do tego wzoru prędkość zawisania powinna być obliczona dla największych cząstek surowca.

Ginzburg [2] zaleca również, aby w przypadku suszenia drobnych cząstek (np. mąki) współczynnik ten miał wartość równą 10-15, nie wyjaśniając czym taka ostrożność jest spowodowana. Najprawdopodobniej jest to spowodowane skłonnością tak małych cząstek do ich łączenia w skupiska zwane „clusters”, „streamers” lub „sheets” [13]. Prędkość zawisania takich skupisk ma znacznie większą wartość niż pojedynczej cząstki. Wydaje się jednak, że podana powyżej wartość jest zawyżona. Wspomniane skupiska powstają bowiem w przypadkach, gdy prędkość powietrza jest niewielka, a strumień masy fazy stałej – duży [17]. Nie zawsze to ma miejsce. Bezkrytyczne przyjmowanie dużego nadmiaru strumienia powietrza prowadzi do nadmiernego zużycia energii na jego przetłaczanie oraz ogrzewanie. W niektórych źródłach literaturowych [2] można również spotkać zależności, w których prędkość powietrza jest uzależniona jedynie od masowego natężenia przepływu surowca, co wydaje się stanowczo zbyt ryzykowne.

Stosowana wcześniej w inżynierskich obliczeniach przybliżona metoda obliczania suszarek pneumatycznych [2] była oparta na równaniu stacjonarnej wymiany ciepła. Czas suszenia można było obliczyć z prostej zależności:

$$\tau = \frac{\dot{Q}}{\alpha F \Delta t_{sr}}, \text{ s} \quad (4)$$

gdzie:

F – powierzchnia zewnętrzna cząstek materiału przechodzących przez suszarkę w ciągu sekundy, m²/s

α – współczynnik wnikania ciepła, W/(m²deg)

Δt_{sr} – średnia różnica temperatury powietrza i cząstek, deg

$\dot{Q}$ – strumień ciepła oddawanego suszonym cząstkom, W

Jako początkową temperaturę cząstek należało przyjmować temperaturę mokrego termometru t_M . Temperaturę suszonych cząstek t_s obliczano [2] z jednej z dwóch zależności:

$$\frac{t_s - t_M}{t_p - t_M} = \frac{W_{kr} - W_k}{W_{kr} - W_r} \quad \text{dla } t_p < 150, ^\circ\text{C} \quad (5a)$$

$$\frac{t_s - t_M}{150 - t_M} = \frac{W_{kr} - W_k}{W_{kr} - W'_r} \quad \text{dla } t_p > 150, ^\circ\text{C} \quad t_s < 150, ^\circ\text{C} \quad (5b)$$

gdzie:

W_{kr} – krytyczna wilgotność suszonych cząstek, %

W_k – końcowa wilgotność cząstek, %

W_r – równowagowa wilgotność cząstek, %

W'_r – równowagowa wilgotność cząstek wynosząca 0,5-1,0%.

To pozwalało obliczyć niezbędną wysokość rury, z prostej zależności:

$$H = \tau(v_p - v_z) \quad (6)$$

Do niej należało dodać wysokość odcinka rozbiegowego, na którym cząstki osiągają ustaloną wartość prędkości. Można ją obliczać [2] z wzoru:

$$H_r = v_p d_{s,e}, \text{ m} \quad (7)$$

gdzie v_p należy podstawić w m/s, a $d_{s,e} = 0,2 - 1,0$ mm.

Inny sposób wyznaczenia długości rury polega na obliczeniu czasu suszenia w oparciu o ruch ciepła bądź ruch masy. W pierwszej odmianie tego sposobu wyznacza się strumień ciepła doprowadzonego do materiału suszonego w jednostce czasu z wzoru:

$$\dot{Q} = \alpha F \Delta t_{sr}, \text{ W} \quad (8)$$

a następnie wyznacza ilość ciepła dostarczanego materiałowi znajdującemu się w ruchu w danej chwili z zależności:

$$Q = m[(X_0 - X_k)r + (c_{ss} + X_0 c_w)(t_{sk} - t_{s0})], \text{ J} \quad (9)$$

gdzie:

X_0, X_k – początkowa i końcowa zawartość wody w cząstkach, kg $\text{H}_2\text{O}/\text{kg s.s.}$

t_{s0}, t_{sk} – początkowa i końcowa temperatura cząstek, $^\circ\text{C}$;

m – masa cząstek znajdujących się w rurze w danym momencie, kg;

r – ciepło parowania wody, J/kg;

c_{ss} , c_w – ciepło właściwe suchej substancji cząstek oraz wody, J/kg·deg.

Czas suszenia wyznacza się jako iloraz ilości ciepła i jego strumienia.

W drugiej odmianie tej metody czas suszenia oblicza się z wzoru:

$$\tau = \frac{m(X_0 - X_k)}{k_y F \Delta Y_{sr}}, \text{ s} \quad (10)$$

gdzie:

$$\Delta Y_{sr} = \frac{(Y_0 - Y_{as}) - (Y_k - Y_{as})}{\ln \frac{Y_0 - Y_{as}}{Y_k - Y_{as}}}, \text{ kg H}_2\text{O/kg s.p.} \quad (11)$$

k_y – współczynnik wymiany masy, kg/(m²·s)

Y_0 , Y_k – początkowa i końcowa zawartość wody w powietrzu, kg/kg s.p.

Y_{as} – zawartość wody w powietrzu odpowiadająca temperaturze adiabatyicznego nasycenia w danym przekroju rury.

Obliczenie długości rury polega na obliczeniu iloczynu:

$$H = v_{s,w} \tau, \text{ m} \quad (12)$$

gdzie $v_{s,w}$ jest prędkością względną cząstek.

Wszystkie przedstawione powyżej metody dają wyniki przybliżone, często znacznie odbiegające od rzeczywistych rezultatów. Kemp i współpracownicy [3] podkreślają, że błąd tych metod może sięgać 5 000%. Podstawową tego przyczyną jest według nich nie uwzględnianie odcinka rozbiegowego, w którym wymiana ciepła i masy jest najbardziej intensywna.

2.2. Iteracyjne metody obliczeń

Metody te polegają na wykonaniu obliczeń wymiany pędu, ciepła i masy w kolejnych krokach czasowych lub kolejnych odcinkach rury, zaczynając od momentu lub miejsca wprowadzania do niej wilgotnych cząstek surowca.

Wykorzystuje się przy tym [3] następujące podstawowe zależności:

- równanie ruchu cząstki:

$$\frac{dv_s}{dt} = \frac{3C_D \rho_p v_{s,w}^2}{4d_{s,e} \rho_s} - g - \frac{f_p v_s^2}{2D_r} \quad (13)$$

gdzie:

C_D – współczynnik oporu opływu cząstki, –

f_p – współczynnik oporów tarcia cząstek o ścianki rury, –

D_r – średnica wewnętrzna rury, m

- równanie wymiany ciepła pomiędzy powietrzem i nasionami:

$$Nu = 2 + 0,5 Re_w^{0,5} Pr^{0,33} + 0,014 Re_w^{0,8} Pr^{0,33} \quad (14)$$

gdzie:

Nu – liczba Nusselta dla wnikania ciepła do suszonej cząstki,

Re_w – liczba Reynoldsa dla wymiany ciepła i masy obliczona dla średnicy zastępczej cząstki obliczonej w oparciu o jej powierzchnię,

Pr – liczba Prandtl'a dla powietrza,

skąd:

$$\alpha = \frac{Nu \lambda_p}{d_{s,w}} \quad (15)$$

gdzie:

λ_p – współczynnik przewodzenia powietrza, W/mdeg

$d_{s,w}$ – średnica cząstki obliczona w oparciu o jej powierzchnię, m

- równanie wnikania ciepła do pojedynczej cząstki:

$$\dot{Q}_{s1} = \pi d_s^2 \alpha (t_p - t_s), \text{ W} \quad (16)$$

gdzie $\dot{Q}_{s1}$ jest strumieniem ciepła przejmowanym przez pojedynczą cząstkę;

- bilans ciepła dla rury:

$$\dot{G}_p c_p (t_{p,0} - t_{p,k}) = \dot{G}_s c_s (t_{s,k} - t_{s,0}) + \dot{Q}_{str} + \dot{W}_r \quad (17)$$

gdzie:

$\dot{G}_p$ – masowe natężenie przepływu powietrza, kg/s

$\dot{G}_s$ – masowe natężenie przepływu nasion, kg/s

$t_{p,0}$, $t_{p,k}$ – temperatura powietrza odpowiednio początkowa i końcowa, °C

c_p , c_s – ciepło właściwe odpowiednio powietrza i nasion, J/kg-deg

$\dot{Q}_{str}$ – strumień ciepła traconego do otoczenia, W

$\dot{W}$ – masowe natężenie przepływu odparowanej z cząstek wody, kg/s

r – ciepło parowania wody, J/kg

Szybkość suszenia można wyznaczyć według Kempa [4] z zależności:

$$-\frac{dX}{d\tau} = \frac{6\alpha\beta(Y_M - Y)}{\rho_p d_{sw} c_p}, \text{ s}^{-1} \quad (18)$$

gdzie:

$$\beta = \frac{c_s k_y a_m}{\alpha} = 1,05 \quad (19)$$

Y_M – zawartość wody w powietrzu w stanie nasycenia, kg H₂O/kg s.p.

a_m – współczynnik przewodzenia potencjału, m²/s

Dla określenia niezbędnej dla uzyskania transportu cząstek surowca prędkości powietrza, a także prędkości bezwzględnej i względnej cząstek, należy wcześniej obliczyć prędkość zawisania cząstek. Można do tego wykorzystać zależności podane w monografii [5] pod redakcją Klinzinga:

$$v'_z = \frac{0,153 g^{0,71} d_{se}^{1,14} (\rho_s - \rho_p)^{0,71}}{\rho_p^{0,29} \mu_p^{0,43}} \quad \text{gdy } Re_z < 500 \quad (20a)$$

$$\text{lub } v''_z = 1,74 \left[\frac{d_{se} (\rho_s - \rho_p) g}{\rho_p} \right]^{0,5} \quad \text{gdy } 500 < Re_z < 2 \cdot 10^5 \quad (20b)$$

$$\text{lub } v'''_z = 3,65 \left[\frac{d_{se} (\rho_s - \rho_p) g}{\rho_p} \right]^{0,5} \quad \text{gdy } Re_z > 2 \cdot 10^5 \quad (20c)$$

$$\text{gdzie: } Re_z = \frac{v_z d_{se} \rho_p}{\mu_p} \quad (21)$$

W metodach iteracyjnych, przy obliczaniu prędkości zawisania, a także innych parametrów, jest uwzględniany fakt, iż właściwości powietrza (gęstość i lep-

kość), prędkość powietrza i cząstek, temperatura powietrza i cząstek oraz inne parametry zmieniają się na długości rury. Dotyczy to również zmian masy cząstek i ich wymiarów wywołanych procesem suszenia oraz zmian zawartości wody w powietrzu. Uzyskiwane w tych metodach wyniki obliczeń suszarek są dzięki temu bliższe rzeczywistości.

Najpierw oblicza się w nich przyrosty obliczanych wielkości w danym kroku czasowym lub odcinku rury, a następnie bieżące ich wartości. Po zakończeniu obliczeń w jednym kroku oblicza się kolejne przyrosty oraz wartości. Obliczenia prowadzi się do momentu osiągnięcia założonej końcowej zawartości wody. W metodzie tej są stosowane różnego rodzaju ograniczenia. Jednym z najczęściej stosowanych jest maksymalna temperatura suszonych cząstek.

W kolejnych obliczeniach można zastosować inne startowe wartości wielkości wejściowych uzyskując inne wyniki. Prowadzi to do optymalizacji procesu suszenia.

3. Analiza rozwiązań konstrukcyjnych suszarek pneumatycznych

3.1. Kształt rury bądź komory suszarniczej

Najważniejszy element klasycznej suszarki pneumatycznej ma postać pionowej rury o jednakowej średnicy na całej długości.

Przy suszeniu cząstek, zawierających wodę przede wszystkim na swej powierzchni zewnętrznej, możliwe jest zwiększanie intensywności wymiany pędu i ciepła pomiędzy powietrzem i cząstkami dzięki miejscowym zwężeniom rury [10]. Zwiększa się w nich prędkość powietrza, a to z kolei zwiększa względną prędkość cząstek. Ma ona duży wpływ na współczynnik wnikania ciepła do cząstek, gdyż zależy on od liczby Reynoldsa związanej z tą prędkością względną.

W przypadku suszenia w klasycznej suszarce pneumatycznej materiałów pochodzenia biologicznego czas przebywania suszonych cząstek jest najczęściej zbyt mały, aby osiągnęły one założoną końcową zawartość wody. Po usunięciu wody z powierzchni cząstek, szybkość suszenia jest bowiem wyznaczana przez szybkość wewnętrznej dyfuzji. Jeszcze gorsza sytuacja ma miejsce w przypadku zastosowania zwężeń rury. Postępuje się w tym przypadku dokładnie odwrotnie, a mianowicie rozszerza się miejscowo rurę. Odległość pomiędzy tymi rozszerzeniami powinna być co najwyżej równa odcinkom, na których cząstki uzyskują maksymalną ustaloną wartość prędkości.

Suszarki, w których rozszerzenia rury mają postać komór fontannujących noszą nazwę suszarek pneumatyczno-fontannowych [6, 7, 11]. Komory te są umiesz-

czane pomiędzy dwoma pionowymi odcinkami rury o jednakowej średnicy. Transportowane strumieniem gazu cząstki przechodzą w tych komorach (w wyniku zmniejszenia prędkości gazu) w stan fontannowania. Jego konsekwencją jest znaczne wydłużenie czasu zachodzenia wymiany ciepła i masy pomiędzy gazem i suszonymi cząstkami. Jest to szczególnie pożądane w przypadku suszenia materiałów pochodzenia biologicznego, wymagających długiego czasu suszenia. Drugą bardzo cenną zaletą tych suszarek jest ich znacznie mniejsza wysokość. To z kolei pozwala zmniejszyć straty ciepła do otoczenia dzięki zmniejszeniu powierzchni zewnętrznej suszarki. Ze względu na zwykle stosowaną wysoką temperaturę gazu straty te stanowią znaczący składnik bilansu ciepła. Przykładowe rozwiązanie takiej suszarki przedstawia Sztabert [16]. Ciekawe rozwiązanie suszarki ze zwężką Venturiego opisuje również w swej monografii Strumiłło [15]. Zastosowana w niej komora suszenia ma umieszczoną w centralnej części zwężkę, dzięki której cząstki cyrkulują w niej i uzyskuje się wydłużenie czasu suszenia dużych cząstek. Małe (wysuszone) cząstki są porywane z komory do cyklonu, który oddziela je od powietrza.

Wymiana ciepła w tych komorach przebiega z bardzo zróżnicowaną intensywnością. W okresie transportu cząstki strumieniem gazu w górę nagrzewają się one szybko w swych zewnętrznych warstwach. Wymiana masy nie może być jednak w tych warunkach bardziej intensywna, gdyż ogranicza ją dyfuzja wody. Zachodzi wówczas przede wszystkim usunięcie wody z zewnętrznej warstwy cząstek. W dalszej części ruchu cyrkulujących w komorze cząstek zachodzi przekazywanie ciepła (przez przewodzenie) do centralnej części cząstek, a także dyfuzja wody do jej powierzchni. Jest to korzystna okoliczność.

W ostatnich latach opracowano modyfikację tych komór polegającą na zastosowaniu w ich centralnej części rury wznoszącej. Dzięki niej uzyskano następujące zalety suszarek pneumatyczno-fontannowych:

- brak maksymalnej wysokości fontannowania, co umożliwia zwiększanie wysokości złoża fontannowego;
- zmniejszenie oporów przepływu gazu przez złożę;
- ujednolicenie czasów przebywania cząstek, co pozwala wyrównać końcową zawartość wody w cząstkach;
- zmniejszenie minimalnej prędkości gazu, przy której rozpoczyna się fontannowanie;
- zwiększenie prędkości cyrkulacji cząstek;
- zwiększenie wartości współczynników wnikania ciepła i masy.

Niejednokrotnie wymagana długość rury jest w suszarkach pneumatycznych na tyle duża, że mogą powstawać problemy w jej ustawieniu w typowych budyn-

kach przemysłowych. W takim przypadku można zastosować ukształtowanie takiej rury w kształt litery U odwróconej do góry nogami, bądź też w „serpentyne” [14]. Można również ukształtować tą rurę w kształt przypominający rury w wymienniku ciepła Fielda. Wszystkie te sposoby mają jednak wadę polegającą na zmniejszeniu prędkości względnej nasion w odcinkach rury, w których cząstki są transportowane w dół. Jest to spowodowane przez działanie siły ciężenia, która spowalnia ruch cząstek w górę w odcinkach rury skierowanych w górę, natomiast przyspiesza je w ich ruchu w dół. Prowadzi to do zmniejszenia intensywności wymiany ciepła oraz dodatkowego wydłużenia rury.

Są również używane suszarki ze spiralną komorą suszarniczą, w której zawieszina porusza się w płaskim kanale spiralnym [12].

Kolejnym sposobem uzyskania większej zmiany zawartości wody w suszonych cząstkach jest zawrócenie znacznej ich części z powrotem do suszarki [16]. Szczególnie powinno to dotyczyć dużych, nie wysuszonych jeszcze w dostatecznym stopniu, cząstek.

3.2. Dozowanie surowca

Sposób zasilania surowcem suszarek pneumatycznych jest uzależniony (podobnie jak w instalacjach do transportu pneumatycznego) od ciśnienia jakie panuje w rurze transportowej. Duże nadciśnienia nie występują w suszarkach pneumatycznych, gdyż długość rury transportowej ma ograniczoną wartość, a poza tym masowy współczynnik zawiesiny ma w nich małą wartość w odróżnieniu od transportu pneumatycznego. W przypadku niewielkiego nadciśnienia do dozowania surowca można zastosować zwężkę Venturiego. Klinzing i współautorzy [5] polecają ten sposób jako najprostszy z mechanicznego punktu widzenia. Działanie zwężki polega na obniżeniu ciśnienia w miejscu zasilania do wartości nieco mniejszej od ciśnienia atmosferycznego. Dzięki temu zostają do niej zassane cząstki surowca wraz z niewielkim strumieniem powietrza.

Innym, bardziej złożonym, sposobem dozowania jest zastosowanie dozownika sektorowego bądź ślimakowego. Wymagają one oddzielnego napędu. Regulacja strumienia masy surowca jest realizowana poprzez regulację prędkości obrotowej organu roboczego (wirnika sektorowego lub ślimaka). Dozowniki te muszą być zbudowane w taki sposób, by nie wypływał przez nie znaczący strumień gorącego gazu. W niektórych przypadkach instaluje się dwa takie dozowniki ustawione szeregowo [5]. Zapewnia to szczególnie dużą ich szczelność.

4. Podsumowanie

1. Stosowanie inżynierskich metod obliczania suszarek pneumatycznych, opartych na wartościach średnich wielkości charakteryzujących wymianę pędu, ciepła i masy pomiędzy gazem i surowcem, są przyczyną powstawania dużych błędów. Nie uwzględniają bowiem dużej zmienności tych wielkości szczególnie w odcinku rozbiegowym, w którym uzyskują one wartości zbliżone do ustalonych.
2. Stosowanie tych metod do obliczania suszarek ze zmienną średnicą rury jest praktycznie niemożliwe.
3. Metody iteracyjne, w których obliczenia te prowadzi się w małych krokach czasowych lub odcinkach rury umożliwiają uwzględnienie zarówno zmienności wielkości fizycznych opisujących tą wymianę, jak i średnicy rury. Błąd tych obliczeń jest z tego względu mniejszy. Umożliwiają one optymalizację procesu suszenia.
4. Klasyczne rozwiązanie suszarki pneumatycznej z rurą o jednakowej średnicy na całej swej długości jest obecnie bardzo rzadko stosowane.
5. Coraz częściej w tych suszarkach występują zmiany średnicy rury, a także komory ze złożem fontannującym. Umożliwiają one zmniejszenie wysokości suszarek i strat ciepła, a także wydłużenie czasu suszenia. Dzięki temu uzyskuje się mniejszą zawartość wody w produkcie.

Literatura

1. **Frolov V. F.:** Modelirovanije suški dispersnych materialov. Chimija, Lenin-grad, 1987.
2. **Ginzburg A. S.:** Osnovy teorii i techniki suški piščevych produktov. Piščevaja Promyšlennost, Moskva, 1973.
3. **Kemp I. C., Bahu R. E., Oakley D. E.:** Modelling vertical pneumatic conveying dryers. Drying 91 (ed. Mujumdar & Filkova), Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1991.
4. **Kemp I. C., Bahu R. E., Pasley H. S.:** Model development and experimental studies of vertical pneumatic conveying dryers. Drying Technology, vol. 12 (1994), No. 6, s. 1323-1340.
5. **Klinzing G. E., Marcus R. D., Rizk F., Leung L. S.:** Pneumatic conveying of solids. A theoretical and practical approach. Chapman & Hall, London, 1997.
6. **Kmieć A., Mielczarski S.:** Charakterystyka suszarki pneumatyczno-fontannowej. I. Hydrodynamika transportu pneumatycznego ziarna suchego. Inżynieria Chemiczna i Procesowa, vol. 1 (1980), No. 4, s. 777-793.

7. **Kmieć A., Mielczarski S.:** Charakterystyka suszarki pneumatyczno-fontannowej. II. Wymiana ciepła w procesie suszenia. *Inżynieria Chemiczna i Procesowa*, vol. 2 (1981), No. 1, s. 59-69.
8. **Kmieć A., Ludwig W.:** Model przepływu dwufazowego gaz – ciało stałe w aparacie fluidyzacyjnym z rurą wznoszącą. I. Wyprowadzenie modelu. *Inżynieria Chemiczna i Procesowa*, vol.19 (1998), No. 3, s. 557-573.
9. **Ludwig W., Kmiec A.:** Hydrodynamika fontannowania w aparacie z rurą wznoszącą. *Inżynieria Chemiczna i Procesowa*, vol. 20 (1999), s. 245-263.
10. **Lykov M.V.:** Сушка в химической промышленности. *Химия*, Москва, 1970.
11. **Mindziul Z., Kmiec A.:** Modelling gas-solid flow in a pneumatic-flash dryer. *Drying Technology*, vol. 15 (1997), No. 6-8, s. 1711-1720.
12. **Mustaev V. I., Uljanov V. M., Timonin A. S.:** Сушка в условиях пневмотранспорта. *Химия*, Москва, 1984.
13. **Rautiainen A., Steward G., Poikolainen V., Sarkomaa P.:** An experimental study of vertical pneumatic conveying. *Powder Technology*, vol. 104 (1999), s. 139-150.
14. **Romankow P.G., Raszkowska N. B., Frołow W. F.:** Procesy wymiany masy w technologii chemicznej. WNT, Warszawa, 1980.
15. **Strumiłło Cz.:** Podstawy teorii i techniki suszenia. WNT, Warszawa, 1983.
16. **Sztabert Z.:** Instalacje suszarnicze – intratny kierunek produkcji. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, vol. 20 (1981), No. 3, s. 3-4.
17. **Tanaka T., Yonemura S., Kiribayashi K., Tsuji Y.:** Cluster formation and particle-induced instability in gas-solid flows predicted by the DSCM method. *JSME International Journal, Series B*, vol. 39 (1996), No. 2, s. 239-245.

ANALYSIS OF METHODS OF CALCULATION AND SOLUTION OF PNEUMATIC DRYERS' CONSTRUCTIONS

Abstract: Simplified engineering and iteration methods of calculation of basic parameters of pneumatic dryers have been presented. The latter makes it easier to assess precisely dimensions. Moreover, the analysis of construction solutions has been made. What has been proven is that currently classic solutions of them are used. Most theoretical works and projects concern those dryers that have changeable diameter of pipe. They enable the process of drying last longer and gaining smaller contents of water in the product.

Bogdan Kosturkiewicz*

BADANIA OBCIĄŻEŃ ELEMENTU ROBOCZEGO ZASILACZA ŚLIMAKOWEGO MOMENTEM SKRĘCAJĄCYM

Streszczenie: W artykule przedstawiono rezultaty rozważań teoretycznych i praktycznych dotyczących modelowania obciążeń elementu roboczego zasilacza ślimakowego, którego oś jest zgodna z kierunkiem działania sił grawitacji, współpracującego z prasą walcową. Umożliwia on m. in. ocenę wpływu parametrów kinematycznych oraz konstrukcyjnych układu zagęszczania na jakościowy i ilościowy przebieg obciążenia elementu roboczego zasilacza ślimakowego momentem skręcającym. Jego weryfikację przeprowadzono w skali laboratoryjnej na prasie walcowej LPW-450.

1. Wprowadzenie

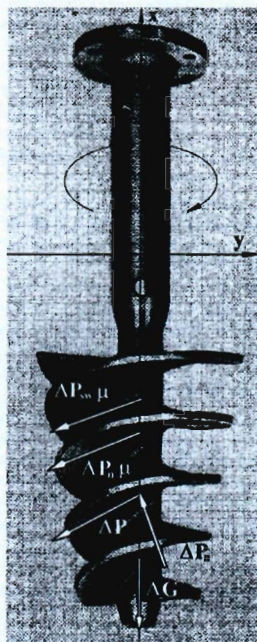
O efektywności procesu brykietowania materiału drobnoziarnistego w prasie walcowej decydują wskaźniki określające jakość otrzymywanych brykietów (gęstość brykietów, wytrzymałość brykietów na zrzut, wytrzymałość brykietów na ściskanie i inne) oraz wskaźniki techniczno - ekonomiczne urządzenia (wydajność prasy walcowej, zużycie energii na jednostkę produkcji finalnej, trwałość pierścieni formujących itp.). Ich wartość jest uzależniona między innymi od sposobu dozowania materiału drobnoziarnistego między walce. Może się ono odbywać w sposób grawitacyjny lub wymuszony. Dotychczas przeważał pogląd, zgodnie z którym wyposażanie prasy walcowej w dodatkowe zespoły zasilające należy ograniczać do przypadków brykietowania materiałów drobnoziarnistych określanych pojęciem "trudnych do zbrylania". Wyniki prac badawczych realizowanych w Katedrze Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska [2, 3] wskazały na jeszcze inne zalety zasilania wymuszonego. Okazało się bowiem, że istnieje możliwość zwiększenia prędkości obrotowej walców prasy w przypadku wyposażenia

* Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

jej w zasilacz ślimakowy, przy uzyskaniu podobnych, w stosunku do zasilania grawitacyjnego, wartości wskaźników jakościowych brykietów.

W niniejszej pracy przedstawiono rezultaty rozważań teoretycznych oraz badań poznawczych przeprowadzonych w laboratoryjnej prasie walcowej LPW-450, których celem była ocena wpływu wybranych geometrycznych parametrów konstrukcyjnych zasilacza ślimakowego na wartość momentu skręcającego mierzonego na wale ślimaka. Prace te są częścią szerszego programu badań zmierzającego do określenia procedury doboru konfiguracji układu wstępnego zagęszczania w przypadku zbrylania materiałów drobnoziarnistych określanych pojęciem „trudnych do zagęszczania”.

2. Określenie stanu obciążeń elementu roboczego zasilacza ślimakowego w oparciu o pasmowy model przepływu materiału drobnoziarnistego



Rys. 1. Schemat obciążenia elementu roboczego zasilacza ślimakowego

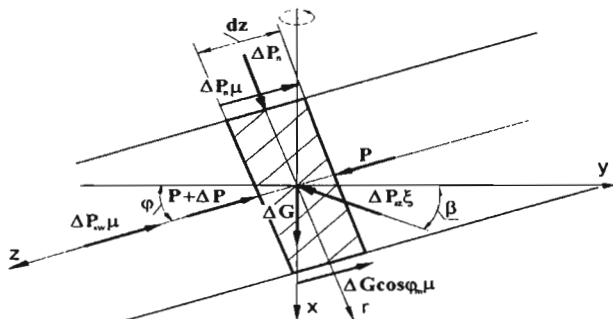
W procesie konstruowania zasilaczy istotna jest znajomość wartości maksymalnego momentu skręcającego obciążającego wał ślimaka. Oblicza się go według przedstawionej poniżej procedury.

Równanie momentów względem osi ślimaka przedstawia się następująco:

$$\Sigma M_{\sqrt{x}} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5, \quad (1)$$

gdzie: M_1 – moment oporu pochodzący od składowej siły P_n na oś y , M_2 – moment oporu pochodzący od składowej siły $P_n \mu$ na oś y , M_3 – moment oporu pochodzący od siły $G \mu$, M_4 – moment oporu pochodzący od składowej siły $P_{sw} \mu$ na oś y , M_5 – moment oporu pochodzący od składowej siły P na oś y .

W celu określenia wartości momentu wstępnego zagęszczania oraz wartości siły poosiowej wydzielono element materiału ograniczony zwojami ślimaka oraz dwiema płaszczyznami prostopadłymi do kierunku przemieszczania się materiału, odległymi od siebie o nieskończenie małą wartość dz (rys.2), a następnie skorzystano z warunku równowagi sił działających na ten element.



Rys. 2. Schemat rozkładu sił działających na wydzielony element materiału przepływającego przez zasilacz ślimakowy

Na wydzielony element objętości materiału działają następujące siły:

- | | |
|------------------------|--|
| G | – siła ciężkości materiału, prostopadła do powierzchni odniesienia, |
| $G \cos \varphi_m \mu$ | – siła tarcia zewnętrznego na powierzchni zwoju ślimaka pochodząca od składowej siły ciężkości, kąt jej z płaszczyzną odniesienia wynosi φ_m , |
| P_n | – siła normalna do powierzchni zwoju ślimaka, kąt jej z płaszczyzną odniesienia wynosi $90^\circ - \varphi_m$, |
| $P_n \mu$ | – siła tarcia zewnętrznego na powierzchni zwoju ślimaka, kąt jej z płaszczyzną odniesienia wynosi φ_m , |
| $P_{sw} \mu$ | – siła tarcia wewnętrznego pomiędzy materiałem nagromadzonym w rowkach cylindra, a materiałem przepływającym przez kanał ślimaka. Siła ta działa pod kątem β do płaszczyzny odniesienia, |
| P | – siła wynikająca z przyrostu ciśnienia materiału. Siła ta działa pod kątem φ_m do płaszczyzny odniesienia. |

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta M_{\sqrt{x}} = & \Delta P_n \sin \varphi_m \frac{D_m}{2} + \Delta P_n \mu \cos \varphi_m \frac{D_m}{2} + \\ & + \Delta G \mu \frac{D_m}{2} + \Delta P_{sw} \mu \cos \varphi_w \frac{D_w}{2} + \Delta P \cos \varphi_m \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie: $D_m = 0,5(D_w + D_z)$, D_w – średnica wewnętrzna ślimaka, D_z – średnica zewnętrzna ślimaka, μ – współczynnik kinetycznego tarcia zewnętrznego, φ_m – kąt pochylenia linii śrubowej ślimaka mierzony na średnicy D_m , φ_w – kąt pochylenia linii śrubowej ślimaka mierzony na średnicy wewnętrznej.

Suma współrzędnych sił prostopadłych do kanału ślimaka wynosi:

$$\Sigma \Delta P_r = \Delta P_n - \Delta P_{sz} \xi \sin(\varphi_z + \beta) + \Delta G \cos \varphi_m = 0, \quad (3)$$

gdzie: ξ – efektywny współczynnik tarcia wewnętrznego, φ_z – kąt pochylenia linii śrubowej ślimaka mierzony na średnicy zewnętrznej, β – kąt przepływu materiału w zasilaczu ślimakowym.

Suma współrzędnych sił działających wzdłuż kanału:

$$\Sigma \Delta P_z = \Delta G \sin \varphi_m + \Delta P_{sz} \xi \cos(\varphi_z + \beta) - \Delta P - \Delta P_{sw} \mu - \Delta G \cos \varphi_m \mu - \Delta P_n \mu = 0, \quad (4)$$

po założeniu, że:

$$\rho = a p, \quad (5)$$

gdzie: a – moduł zagęszczania (odpowiednik modułu Young'a dla ośrodków zagęszczanych), p – ciśnienie materiału w zasilaczu ślimakowym.

I podstawieniu do równania (3) otrzymano wzór na ΔP_n :

$$\Delta P_n = S \cos \varphi_z \xi \sin(\varphi_z + \beta) p m dz \frac{D_z}{D_m} - \frac{D_z - D_w}{2} S a p g \cos^2 \varphi_m dz \quad (6)$$

gdzie: S – skok ślimaka, m – współczynnik bocznego nacisku.

Po podstawieniu (6) do (2) oraz po przekształceniach otrzymano:

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta M_{\sqrt{x}} = & \left[\sin \varphi_m \frac{D_m}{2} + \mu \cos \varphi_m \frac{D_m}{2} \right] + \left[S \cos \varphi_z \xi \sin(\varphi_z + \beta) p m dz \frac{D_z}{D_m} + \right. \\ & \left. - \frac{D_z - D_w}{2} S a p g \cos^2 \varphi_m dz \right] + \frac{D_z - D_w}{2} S \cos \varphi_m a p g \mu \frac{D_m}{2} dz + \\ & + S \mu \cos^2 \varphi_w p m \frac{D_w}{2} dz \frac{D_w}{D_m} + \frac{D_z - D_w}{2} S \cos^2 \varphi_m \frac{D_m}{2} dp \end{aligned} \quad (7)$$

po przekształceniach:

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta M_{\sqrt{x}} = & p dz S \left\{ \left[\sin \varphi_m + \mu \cos \varphi_m \right] \left[\cos \varphi_z \xi \sin(\varphi_z + \beta) m \frac{D_z}{2} + \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{D_z - D_w}{2} a g \cos^2 \varphi_m \frac{D_m}{2} \right] + \mu \left[\frac{D_z - D_w}{2} \cos \varphi_m a g \frac{D_m}{2} + \cos^2 \varphi_w m \frac{D_w^2}{2 D_m} \right] \right\} \\ & + \frac{D_z - D_w}{2} S \cos^2 \varphi_m \frac{D_m}{2} dp \end{aligned} \quad (8)$$

po podstawieniu za:

$$A(\beta) = S \left\{ \sin \varphi_m + \mu \cos \varphi_m \right\} + \left[\cos \varphi_z \xi \sin(\varphi_z + \beta) m \frac{D_z}{2} + \right. \\ \left. - \frac{D_z - D_w}{2} ag \cos^2 \varphi_m \frac{D_m}{2} \right] + \mu \left[\frac{D_z - D_w}{2} \cos \varphi_m ag \frac{D_m}{2} + \cos^2 \varphi_w m \frac{D_w^2}{2D_m} \right] \quad (9)$$

oraz za:

$$B = \frac{D_z - D_w}{2} S \cos^2 \varphi_m \frac{D_m}{2}, \quad (10)$$

otrzymano wzór na wartość momentu skręcającego obciążającego wał ślimaka M_{sl} :

$$M_{sl} = A p_k z + B(p_k - p_p), \quad (11)$$

gdzie: z – długość wstępnie zagęszczanego pasma materiału droбноziarnistego.

Wartość ciśnienia wywieranego przez zagęszczany materiał droбноziarnisty na ostatni zwój ślimaka p_k :

$$p_k = p_p e^{\frac{E}{F} z}, \quad (12)$$

gdzie: p_p – ciśnienie wywierane przez zagęszczany materiał na pierwszy zwój ślimaka, E , F – stałe.

Wartość ciśnienia wywieranego przez zagęszczany materiał droбноziarnisty na pierwszy zwój ślimaka p_p wynosi wg [1]:

$$p_p = \frac{g \rho_0 h l}{2 \mu m(h + l)}, \quad (13)$$

gdzie: g – przyspieszenie ziemskie, ρ_0 – gęstość nasypowa nadawy, h – szerokość otworu wylotowego zbiornika zasypowego, l – długość otworu wylotowego zbiornika zasypowego.

Stałe E i F z wzoru (12) można obliczyć wg zależności:

$$E = S \left\{ \frac{D_z - D_w}{2} \cos \varphi_m ag [\sin \varphi_m - \cos \varphi_m \mu + \cos \varphi_m] + \right. \\ \left. + \frac{D_z}{D_m} m \cos \varphi_z \xi [\cos(\varphi_z + \beta) - \sin(\varphi_z + \beta)] - m \cos \varphi_w \mu \frac{D_w}{D_m} \right\}, \quad (14)$$

$$F = \frac{D_z - D_w}{2} S \cos \varphi_m. \quad (15)$$

3. Badania wpływu geometrycznych cech konstrukcyjnych elementu roboczego zasilacza na wartość momentu skręcającego ślimaka

3.1. Cel i metodyka badań

Celem badań było określenie wpływu kąta pochylenia linii śrubowej ślimaka mierzonego na średnicy wewnętrznej φ_w oraz kąta zbieżności ślimaka κ na wartość momentu skręcającego elementu roboczego zasilacza ślimakowego. Na materiał modelowy wybrano mieszaninę pyłu grafitowego, stanowiącego odpad otrzymywany w stalowni konwertorowej z dodatkiem pyłu wapiennego z elektrofiltrów i melasy. Materiał ten cechuje się ograniczoną „płynnością” powodującą „zawieszanie się” wsadu w strefie zasypu, co skutkuje niemożnością jego brykietowania w prasach walcowych wyposażonych w zasilacz grawitacyjny.

Charakterystykę elementów roboczych zasilacza ślimakowego użytych podczas badań przedstawiono w tab.1.

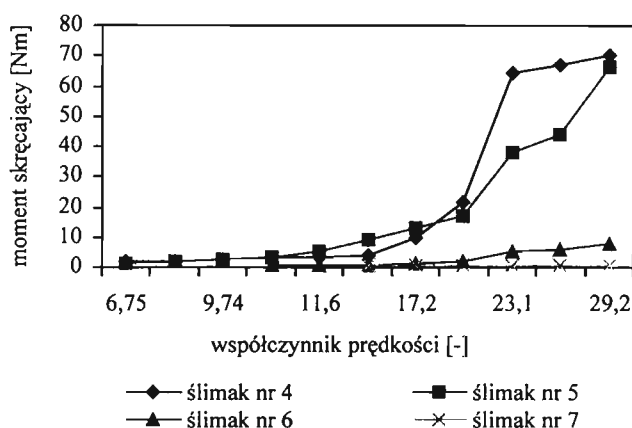
Tab. 1. Charakterystyka elementów roboczych zasilacza ślimakowego

Nr ślimaka		3	4	5	6	7	8
Krotność ślimaka	[-]	1	1	1	1	1	1
Skok ślimaka S	[mm]	60	60	48	60	40	60 ÷ 40
Kąt pochylenia linii śrubowej ślimaka mierzony na średnicy wewnętrznej β_w	[°]	43,68	43,68	37,38	43,68	32,48	43,68 do 32,48
Średnica zewnętrzna D_{z1}	[mm]	121	110	110	70	70	70
Średnica zewnętrzna D_{z2}	[mm]	70	70	70	70	70	70
Kąt zbieżności κ	[°]	7,85	6,17	6,17	0,00	0,00	0,00

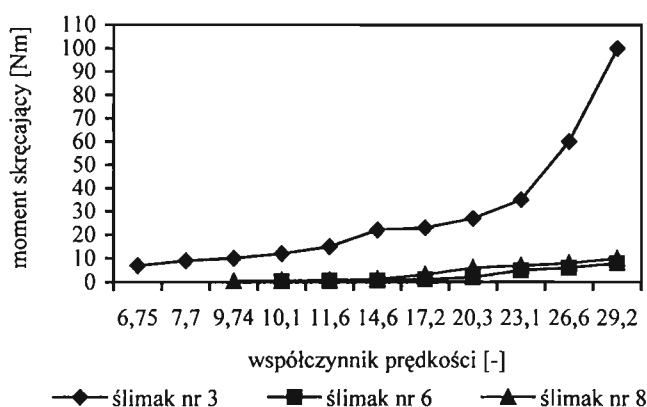
Schemat laboratoryjnej prasy walcowej LPW-450 wraz z układem pomiarowym przedstawiono w pracy [2].

3.2. Wyniki badań

Wyniki badań przedstawione na rys. 3 i 4 potwierdziły rezultaty rozważań teoretycznych z których wynika, że obciążenie wału elementu roboczego zasilacza ślimakowego jest pochodną skuteczności podawania materiału między walce prasy.



Rys. 3. Zależność momentu skręcającego na wale ślimaka od współczynnika prędkości określona dla ślimaków o różnym kącie zbieżności oraz o różnych wartościach wewnętrznego kąta pochylenia linii śrubowej



Rys. 4. Zależność momentu skręcającego na wale ślimaka od współczynnika prędkości określona dla wybranych typów ślimaków: stożkowego, walcowego o stałym skoku i walcowego o zmiennym skoku

Maksymalne wartości momentu skręcającego zaobserwowano wówczas, gdy współczynnik prędkości osiągał najwyższe wartości i stosowano ślimaki typu stożkowego o dużym kącie zbieżności i wysokich wartościach kąta pochylenia linii śrubowej. Wartość momentu skręcającego jakim obciążony jest ślimak wskazuje bowiem na skuteczność podawania materiału w strefę zagęszczania prasy walcowej. Zależności przedstawione na rys.4 wskazują na to, że za niecelowe należy również uznać stosowanie ślimaków o zmiennym kącie pochylenia linii śrubowej.

4. Podsumowanie

Przedstawiony w ramach niniejszej pracy model matematyczny obciążenia elementu zasilacza ślimakowego momentem skręcającym jest częścią szerokiego programu badań mającego na celu opracowanie procedury doboru konfiguracji układu wstępnego zagęszczania prasy walcowej. Jego wyniki umożliwiają wytyczenie kierunków doboru parametrów konstrukcyjnych i kinematycznych identyfikujących zasilacz ślimakowy współpracujący z prasą walcową.

Literatura

1. **Drzymała Z.:** (1993) *Industrial Briquetting - Fundamentals and Methods*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
2. **Kosturkiewicz B.:** (1997) *Badania identyfikacyjne zasilacza ślimakowego do pras walcowych*. Rozprawa doktorska AGH, Kraków.
3. **Kosturkiewicz B.:** (2001) *Zagadnienie przepływu materiałów drobnoziarnistych w zasilaczu ślimakowym*. *Problemy Maszyn Roboczych*, z.17, s.135-143.

RESEARCH INTO LOADS OF WORKING ELEMENT OF SREW FEEDER

Abstract: In the present paper theoretical and practical results are presented of research concerning modeling of loads of working element of a roll press vertical screw feeder. The model described makes it possible to evaluate the influence of both the kinematic and the design parameters of the compaction system upon qualitative and quantitative course of the load of working element of the screw feeder with torque. The model was verified on the laboratory LWP-450 roll press.

Bogdan Kosturkiewicz*, Andrzej Janewicz*

PROBLEM DOBORU KONFIGURACJI UKŁADU ZAGĘSZCZANIA PRASY WALCOWEJ

Streszczenie: W artykule scharakteryzowano krótko złożoność problemu doboru konfiguracji układu zagęszczania prasy walcowej. Zwrócono uwagę na czynniki i elementy mające wpływ na ten dobór. Przedstawiono niektóre wyniki badań identyfikacyjnych dwóch typów zasilaczy, które stanowią zasadniczy element rozważanego zagadnienia.

1. Wstęp

Układ zagęszczania prasy walcowej to określone elementy i podzespoły robocze prasy w obszarze których następuje stopniowa zmiana gęstości nadawy tzn. przejście ze stanu drobnoziarnistego w zbrylony, np. brykiet. Konfiguracja oraz geometryczne cechy konstrukcyjne układu zagęszczania prasy walcowej zależą od właściwości zbrylanego materiału oraz wymagań związanych z przeznaczeniem otrzymanego produktu. Cechą materiałów drobnoziarnistych, która decyduje czy mogą być one scalane w prasie walcowej jest ich odpowiednia podatność na zbrylanie. Ocenę tej podatności dokonuje się m.in. na podstawie wyznaczonych eksperymentalnie charakterystyk zagęszczania, z uwzględnieniem np. zmienności współczynnika kinetycznego tarcia zewnętrznego. Wymagania związane z otrzymanym produktem określa ich użytkownik. Dotyczy to przede wszystkim kształtu i wielkości aglomeratu oraz jego wskaźników jakości. Dysponując informacjami o wymaganym nacisku jednostkowym i stopniu zagęszczenia oraz warunkami ograniczającymi, można wstępnie rozstrzygnąć kwestię doboru tego układu tzn. sposobu podawania materiału (dozowanie grawitacyjne lub zasilanie wymuszające przepływ nadawy), średnicy walców, rodzaju oraz geometrii wgłębień formujących [4].

* Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Aleja Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

Złożony charakter omawianego problemu wymaga następnie szczegółowego rozwiązania poszczególnych zagadnień składowych. Wiąże się to zarówno z modelowaniem matematycznym jak i badaniami doświadczalnymi. Zagadnienie doboru konfiguracji oraz geometrycznych cech konstrukcyjnych układu zagęszczania pras walcowych do brykietowania materiałów drobnoziarnistych stanowi zatem ważny etap ich konstrukcji i/lub modernizacji. Z uwagi na obszerność tematu w niniejszym artykule, mającym charakter wprowadzenia w rozważane zagadnienie, przedstawiono jedynie fragment prac prowadzonych w tym kierunku w Katedrze Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska. Świadomie pominięto całkowicie problem związany z geometrią pierścieni formujących (średnica pierścienia, rodzaj i kształt wgłębień formujących), który był już częściowo prezentowany m.in. w pracach [3, 4]. W artykule skoncentrowano natomiast uwagę na zasilaczach. Przedstawiono dwie konstrukcje tych podzespołów pras walcowych oraz wybrane wyniki badań identyfikacyjnych.

2. Zasilacz zbieżnokanałowy

Zasilacz zbieżnokanałowy – stanowiący oryginalną konstrukcję Katedry UtiiOŚ AGH [5] – przeznaczony jest do podawania i wstępnego zagęszczania w prasach walcowych materiałów drobnoziarnistych charakteryzujących się ograniczoną podatnością na zbrylanie. Ideę podawania wsadu do prasy walcowej poprzez zbieżne kanały przedstawiono na rys.1. W grawitacyjnym zbiorniku zasypowym znajdującym się nad walcami prasy – na drodze przylegającej do walców i poruszającej się wraz z nimi warstwy materiału - umieszczono parę odpowiednio ukształtowanych elementów tzw. wkłady kształtowe (rys. 2). Ich wewnętrzna powierzchnia tworzy wraz z powierzchnią roboczą pierścieni prasy i bocznymi uszczelnieniami kanały, którymi nadawa dostarczana jest w strefę scalania prasy. W celu ułatwienia przepływu materiału przez kanały elementy kształtowe mogą dodatkowo wykonywać ruch drgający o określonej częstotliwości i amplitudzie przemieszczeń. Wstępne upakowanie materiału we wgłębieniach formujących oraz wydłużenie czasu jego przebywania pod naciskiem miało przyczynić się do poprawy wskaźników jakości brykietów. Aby osiągnąć ten efekt należało odpowiednio ukształtować geometrię kanałów nowego zasilacza. Zagadnienie to przedstawiono szczegółowo w pracach [6, 7, 8]. Przeprowadzona analiza pozwoliła wyznaczyć m.in. funkcję konturu wzdłużnego wkładu kształtowego, która przyjęła następującą postać:

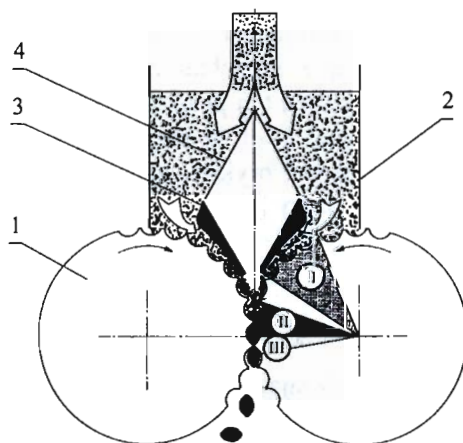
$$R_{\varphi} = \left(1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha \cdot \pi}{180} \cdot \varphi \right) \cdot R + H_k, \quad (1)$$

gdzie: R_{φ} – promień zarysu wzdłużnego kanału, R – promień zewnętrzny pierścienia formującego, φ – kąt określający **położenie** promienia R_{φ} , H_k – wysokość szczeliny wlotowej kanału, $0 \leq \alpha \leq \alpha_{gr}$ – kąt pochylenia roboczej powierzchni elementu zagęszczającego względem powierzchni pierścienia formującego.

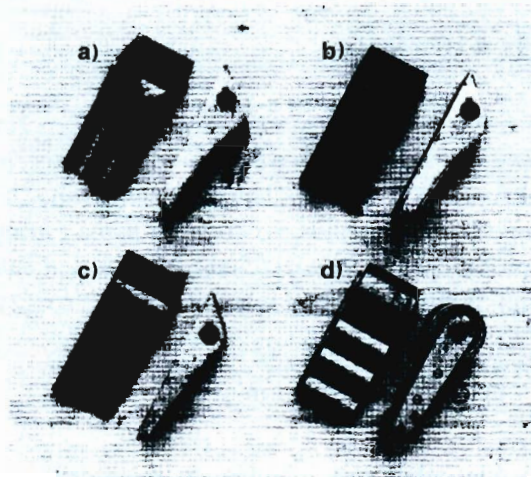
Graniczny kąt pochylenia α_{gr} powierzchni roboczej elementu zagęszczającego względem powierzchni pierścienia formującego należy wyznaczyć z zależności:

$$\operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{1 - \omega + 2\mu \cdot \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta + \omega \cdot \mu} \operatorname{tg} \alpha + \frac{\mu - \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta + \omega \cdot \mu} \leq 0, \quad (2)$$

gdzie: $\omega = \frac{1 + \sin^2 \delta}{1 - \sin^2 \delta}$ – współczynnik wynikający z przyjętego warunku stanu granicznego, μ – współczynnik kinetycznego tarcia zewnętrznego pary ciernej: brykietowany materiał – materiał powierzchni roboczej wkładu kształtowego, δ – efektywny kąt tarcia wewnętrznego.



Rys. 1. Idea działania zasilacz zbieżnokanałowego: 1 – walce prasy, 2 – zbiornik zasypowy zasilacza, 3 – wkłady kształtowe, 4 – kłapy regulujące, I – strefa wstępnego zagęszczania, II – strefa brykietowania, III – strefa ekspansji zwrotnej brykietów



Rys. 2. Wkłady kształtowe o różnych zarysach poprzecznych powierzchni roboczej: a – odwzorowanie pełne typu „siodło”, b – odwzorowanie w połowie typu „siodło”, c – odwzorowanie proste, d – odwzorowanie proste z rolkami tocznymi

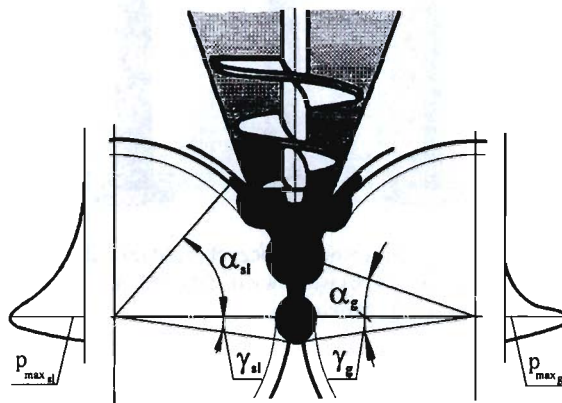
Prowadzone badania laboratoryjne brykietowania różnych materiałów drobnoziarnistych w prasie walcowej z udziałem zasilacza zbieżnokanałowego potwierdzają jego pozytywny wpływ na ten proces. W porównaniu z grawitacyjnym zasypem uzyskiwano do tej pory od $3 \pm 13\%$ przyrost wytrzymałości brykietów na zrzut oraz do 10% przyrost gęstości brykietów. Niektóre wyniki badań nowego zasilacza przedstawiono m.in. w pracy [9].

3. Zasilacz ślimakowy

Istotnym warunkiem umożliwiającym zbrylenie materiału drobnoziarnistego w prasie walcowej jest uzyskanie odpowiednio wysokiego stopnia zagęszczenia. W czasie prowadzenia procesu brykietowania należy w związku z tym doprowadzić do zbliżenia poszczególnych cząstek materiału w granicach minimalnego odstępu molekularnego tzn. takiego przy którym może zachodzić działanie sił Van der Waalsa, co jest związane z koniecznością wywierania znacznych nacisków na zagęszczany materiał. Cel ten można osiągnąć poprzez zastosowanie urządzenia wspomagającego proces zagęszczania w postaci zasilacza ślimakowego. Umożliwia on, poza podstawową jego funkcją, jaką jest zasilanie prasy walcowej mate-

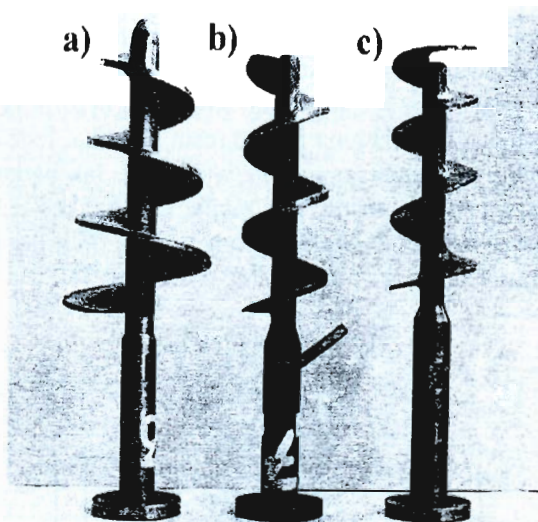
riałem drobnoziarnistym wraz z jego wstępnym zagęszczaniem uzyskanie dodatkowych, często bardzo ważnych dla procesu brykietowania efektów. Przykładowo, może powodować rozdrobnienie materiału w celu osiągnięcia najbardziej korzystnego, z punktu widzenia brykietowania składu ziarnowego, czy też jego lepszą homogenizację [1]. Naprężenia ścinające i tarcie, występujące podczas przepływu materiału drobnoziarnistego przez zasilacz ślimakowy, powodują utworzenie większej powierzchni kontaktu pomiędzy ziarnami i w efekcie silniejsze wiązania międzyziarnowe w trakcie procesu zagęszczania. Tarcie powoduje również podgrzewanie brykietowanego materiału drobnoziarnistego i aktywizację zawartego w nim lepiszcza.

Elementem roboczym zasilacza jest ślimak. Do jego zadań należy m.in. pokonanie oporu przepływu, wywołanego spiętrzeniem materiału drobno-ziarnistego w wylotniku i brykietowaniem go między walcami. Musi on więc spowodować swoimi zwojami wystarczający nacisk na strefę zagęszczania prasy walcowej. Wartość tego nacisku jest uzależniona od długości ślimaka, jego skoku, zbieżności oraz prędkości obrotowych zasilacza i prasy walcowej. Jak wykazały badania własne współautora pracy [10], zastosowanie zasilacza ślimakowego w zespole prasy walcowej umożliwia zwiększenie wartości kąta chwytu od kilku do kilkudziesięciu procent w porównaniu z zasilaczem grawitacyjnym (rys. 3).

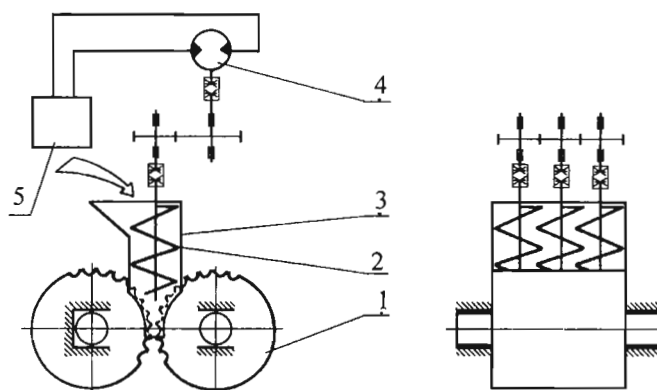


Rys. 3. Schemat obrazujący wpływ rodzaju zastosowanego zasilania prasy walcowej na wartość kąta chwytu oraz nacisku jednostkowego we wgłębieniu formującym: $\alpha_{g(sl)}$ – kąt chwytu przy zasilaniu grawitacyjnym (ślimakowym), $\gamma_{g(sl)}$ – kąt sprężystego rozszerzania brykietu przy zasilaniu grawitacyjnym (ślimakowym), $p_{max\ g(sl)}$ – maksymalny nacisk jednostkowy występujący we wgłębieniu formującym przy zasilaniu grawitacyjnym (ślimakowym)

Stosuje się trzy podstawowe typy ślimaków: stożkowe, walcowe o stałym skoku i walcowe o zmiennym skoku (rys.4). Istotnym problemem występującym przy projektowaniu układów zasilających do przemysłowych pras walcowych jest konieczność równomiernego rozprowadzenia materiału drobnoziarnistego wzdłuż szerokości walców [2]. Zmienność ilościowego przepływu wynika bowiem z występowania sił tarcia na powierzchni styku: materiał drobnoziarnisty-kanal zasy-powy. Powoduje ona niedostateczne zasilanie obszarów brzegowych walców. Poprawę równomierności zasilania pras o szerokich walcach można uzyskać poprzez zastosowanie układów wieloślimakowych (rys.5).



Rys. 4. Typy elementów roboczych zasilacza ślimakowego: a) stożkowy, b) walcowy o stałym skoku, c) walcowy o zmiennym skoku

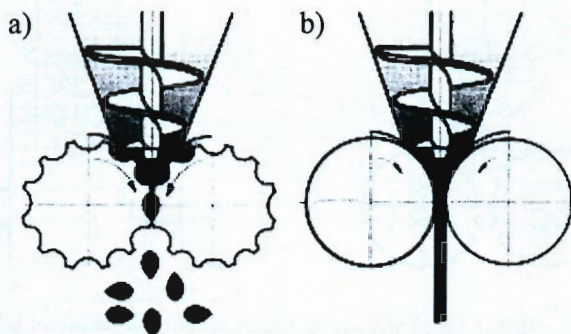


Rys. 5. Schemat kinematyczny zasilacza ślimakowego prototypowej prasy walcowej PW-1000: 1 – walce brykietujące, 2 – zespół ślimaków, 3 – wylotnik, 4 – silnik hydrauliczny, 5 – źródło hydrauliczne

Zasilacze ślimakowe należą do najczęściej stosowanych podzespołów zasilająco-zagęszczających o wymuszonym przepływie. Znalazły one zastosowanie w prasach walcowych o walcach z wgłębieniami formującymi (brykietarki) lub gładkich (kompaktory) do zbrylania na zimno lub na gorąco. Przy ustalaniu założeń konstrukcyjnych konieczne jest właściwe określenie geometrycznych cech konstrukcyjnych elementu roboczego zasilacza ślimakowego, takich jak: kąt zbieżności, kąty pochylenia linii śrubowej i skok linii śrubowej. Winno je poprzedzać przeprowadzenie badań podstawowych, mające na celu wyznaczenie wartości wybranych parametrów materiałowych zagęszczanego ośrodka sypkiego, do których należą: efektywny współczynnik tarcia wewnętrznego, moduł zagęszczania (odpowiednik modułu Younga dla ośrodków zagęszczanych), maksymalny stopień zagęszczania oraz współczynnik tarcia zewnętrznego pary ciełej: zagęszczany ośrodek sypki – stal. Opis procedury wyznaczania powyższych wielkości zamieszczono w pracy [10].

Wpływ na skuteczność odpowietrzania materiału droбноziarnistego w zasilaczu ślimakowym ma właściwe ukształtowanie powierzchni ślimaka i cylindra. W tym celu należy tak skonstruować cylinder, aby opór wywołany tarcie między transportowanym materiałem droбноziarnistym, a jego ścianą był możliwie jak największy. Z sytuacją taką mamy do czynienia wówczas, gdy ściany cylindra są rowkowane. Przepływający materiał droбноziarnisty odkłada się wówczas w rowkach, czego konsekwencją jest występowanie na styku powierzchni: materiał droбноziarnisty – cylinder, siły tarcia wewnętrznego. W przeciwieństwie do ścian cy-

lindra opór tarcia na powierzchni ślimaka powinien być jak najmniejszy. Stąd należy zadbać o odpowiedni stan chropowatości powierzchni elementu roboczego zasilacza.



Rys. 6. Zastosowania zasilacza ślimakowego w zespole prasy walcowej o walcach: a) z wgłębieniami formującymi – brykciarka, b) gładkich – kompaktor

Przeniesienie wyników badań laboratoryjnych na skalę przemysłową wymaga uwzględnienia warunku stałości przepływu masowego przez zasilacz ślimakowy i prasę walcową [11]. Równanie obrazujące omawianą zależność ma następującą postać:

$$Q_m = W_m, \quad (3)$$

gdzie: Q_m – wydajność masowa zasilacza ślimakowego, W_m – wydajność masowa prasy walcowej.

Wydajność masową zasilacza ślimakowego Q_m możemy obliczyć ze wzoru:

$$Q_m = 15\pi^2 (D_z^2 - D_w^2) D_m n_{sl} \frac{\tan \beta \tan \varphi_m}{\tan \beta + \tan \varphi_m} \rho_w \text{ [kg/h]}, \quad (4)$$

gdzie: D_z – średnica zewnętrzna ślimaka [m], D_w – średnica wewnętrzna ślimaka [m], $D_m = 0,5(D_w + D_z)$ [m], n_{sl} – prędkość obrotowa ślimaka [obr/min], β – kąt przepływu materiału w zasilaczu ślimakowym [°], φ_m – kąt pochylenia linii śrubowej ślimaka mierzony po średnicy D_m [°], ρ_w – gęstość wypływającego z zasilacza materiału [kg/m³].

Podstawiając ze wzoru (4) za Q_m oraz za W_m :

$$W_m = 60V_b i_b n_w \rho_b \text{ [kg/h]}, \quad (5)$$

gdzie: V_b – objętość brykietu [m^3], i_b – ilość wgłębień formujących [-], n_w [obr/min], ρ_b – gęstość brykietu [kg/m^3],

otrzymano wzór na stopień zagęszczenia możliwy do uzyskania w prasie walcowej:

$$s_b = \frac{\rho_b}{\rho_w} = \frac{\pi^2 (D_z^2 - D_w^2) D_m n_{sl} \frac{tg \beta \ tg \varphi_m}{tg \beta + tg \varphi_m}}{4 V_b i_b n_w} [-]. \quad (6)$$

Zależność ta umożliwia ocenę wpływu poszczególnych wielkości w nim występujących na wartość stopnia zagęszczania, możliwego do uzyskania w prasie walcowej wyposażonej w zasilacz ślimakowy.

Literatura

1. **Dec R., Komarek R.:** (1993) *Testing performance of roll force feed systems*. 23rd Biennial Conference, Seattle, Washington, pp. 65-75.
2. **Drzymała Z.:** (1993) *Industrial Briquetting - Fundamentals and Methods*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
3. **Dzik T., Hryniewicz M.:** (2001) *Metoda prognozowania trwałości elementów formujących pras walcowych*. Problemy Maszyn Roboczych, z. 17, s. 63-69.
4. **Hryniewicz M.:** (1997) *Metoda doboru pras walcowych oraz opracowanie założeń do ich modernizacji lub konstrukcji*. Rozprawy monografie, 58, wydawnictwo AGH, Kraków.
5. Patent PL nr 107993
6. **Janewicz A.:** (1996) *Badania identyfikacyjne zasilacza zbieżnokanałowego do pras walcowych*. Rozprawa doktorska AGH, Kraków.
7. **Janewicz A.:** (2000) *Uproszczona metoda kształtowania kanałów zagęszczających zasilacza zbieżnokanałowego do pras walcowych*. Zeszyty Naukowe AGH, seria Mechanika, tom 19, z.2, s. 183-191.
8. **Janewicz A.:** (2000) *Kształtowanie geometrii kanałów zagęszczających zasilacza zbieżnokanałowego do pras walcowych*. Materiały Jubileuszowej X Konferencji Naukowej nt. „Problemy w Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Hutniczych i Ceramicznych”, Kraków, tom I, s. 197-204.
9. **Janewicz A.:** (w druku) *Analiza wpływu parametrów zasilacza zbieżnokanałowego na jakość brykietów otrzymywanych w prasie walcowej*. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Nauki Techniczne, Budowa i Eksploatacja Maszyn.

10. **Kosturkiewicz B.:** (1997) *Badania identyfikacyjne zasilacza ślimakowego do pras walcowych*. Rozprawa doktorska AGH, Kraków.
11. **Kosturkiewicz B.:** (2001) *Zagadnienie przepływu materiałów drobnoziarnistych w zasilaczu ślimakowym*. Problemy Maszyn Roboczych, z.17, s. 135-143.

PROBLEM IN SELECTION OF CONFIGURATION OF COMPACTION ARRANGEMENT FOR ROLL PRESSES

Abstract: Some problems in selection of configuration of compaction arrangement for roll presses are presented. Two feeders for roll press, the new one called tapered-channel feeder and screw feeder, are shown. Some results of the identification researches and mathematical formulas are given.

Włodzimierz P. Kowalski^{*}, Marian Banaś^{*}

WPLYW STĘŻENIA ZAWIESINY NA ROZKŁAD STATYSTYCZNY WIELKOŚCI CZĄSTEK FAZY STAŁEJ W PROCESIE SEDYMENTACJI

Streszczenie: W artykule przedstawiono metodę analizy wyników pomiaru rozkładu wielkości cząstek fazy stałej zawiesin przemysłowych z uwzględnieniem stężenia cząstek fazy stałej. Przedstawiono graficzne zależności parametrów rozkładu wielkości cząstek od stężenia cząstek fazy stałej zawiesiny. Przedstawiono także wyniki obliczeń estymatorów współczynników wzorów empirycznych określających wpływ stężenia zawiesiny na wartości parametrów rozkładu statystycznego wielkości cząstek fazy stałej w procesie sedymentacji.

1. Wprowadzenie

Proces sedymentacji jest powszechnie stosowany w procesach klarowania zawiesin przemysłowych w gospodarce komunalnej w procesach uzdatniania wody i oczyszczania ścieków. Proces sedymentacji prowadzi się w tradycyjnych osadnikach prostokątnych lub w osadnikach kołowych Dorra, a coraz częściej w małogabarytowych osadnikach wielostrumieniowych jak również w osadnikach tradycyjnych z wypełnieniem wielostrumieniowym.

Małogabarytowe osadniki wielostrumieniowe, a także osadniki tradycyjne zmodernizowane przez zastosowanie wielostrumieniowego wypełnienia charakteryzują się kilkakrotnie wyższą wydajnością w porównaniu do osadników tradycyjnych dzięki zwiększeniu zawartej w ich przestrzeni powierzchni sedymentacyjnej [1, 3, 4, 7]. W konkretnych warunkach przemysłowych, nie wykorzystując wyższej wydajności tych urządzeń, można uzyskać bardzo wysoką efektywność procesu sedymentacji. Dokładność obliczeń efektywności sedymentacji ma bardzo

^{*} Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

istotne znaczenie w projektowaniu osadników, zwłaszcza osadników wielostrumieniowych [2, 6, 11, 12].

Efektywność sedymentacji oblicza się na podstawie modeli matematycznych uwzględniających rozkład statystyczny wielkości cząstek fazy stałej. Zakładając, iż rozkład wielkości cząstek fazy stałej jest rozkładem logarytmiczno-normalnym, efektywność sedymentacji $\eta(d_g; m, \sigma)$ oblicza się [6] ze wzoru zależnego od dystrybucyjności rozkładu normalnego Φ_N

$$\eta(d_g; m, \sigma) = 1 - \Phi_N\left(\frac{\ln d_g - m}{\sigma}\right) + \exp\{2 \cdot [\sigma^2 - (\ln d_g - m)]\} \cdot \Phi_N\left(\frac{\ln d_g - m}{\sigma} - 2 \cdot \sigma\right), \quad (1)$$

Efektywność sedymentacji obliczana według wzoru (1) zależy od parametrów rozkładu wielkości cząstek m i σ (wartość średnia i odchylenie standardowe logarytmów naturalnych wielkości cząstek) oraz od wielkości cząstki – dla danych warunków przepływu zawiesiny i parametrów geometrycznych osadnika – granicznej d_g . Prędkość opadania cząstek o wielkości granicznej oblicza się ze wzoru Stokesa, przyjmując, iż prędkość ta jest równa obciążeniu powierzchniowemu q

$$v(d_g) = \frac{1}{18} \frac{(\rho - \rho_0)g}{\mu_0} d_g^2 = q = \frac{Q}{F} \quad (2)$$

Prędkość opadania cząstek o wielkości granicznej uwzględnia wpływ następujących własności fizycznych zawiesiny:

- gęstości materiału cząstek fazy stałej ρ ,
- gęstości fazy ciekłej zawiesiny ρ_0 ,
- temperatury zawiesiny, ujętej w dynamicznym współczynniku lepkości μ_0 ,

oraz uwzględnia natężenie przepływu zawiesiny Q , a także wielkość powierzchni sedymentacyjnej F zawartej w urządzeniu, wyznaczających łącznie wartość obciążenia powierzchniowego q .

2. Zastosowanie wzoru na efektywność sedymentacji do wyznaczania parametrów rozkładu wielkości cząstek

Wzór (1) ma dwojakie zastosowanie. W przypadku, gdy znane są wartości parametrów rozkładu wielkości cząstek wzór (1) służy do wyznaczania efektywności sedymentacji. Natomiast w przypadku, gdy znany jest ciąg wartości par: „*wielkość graniczna cząstki – efektywność sedymentacji*”, wzór (1) znajduje zastosowanie do wyznaczania parametrów rozkładu m i σ .

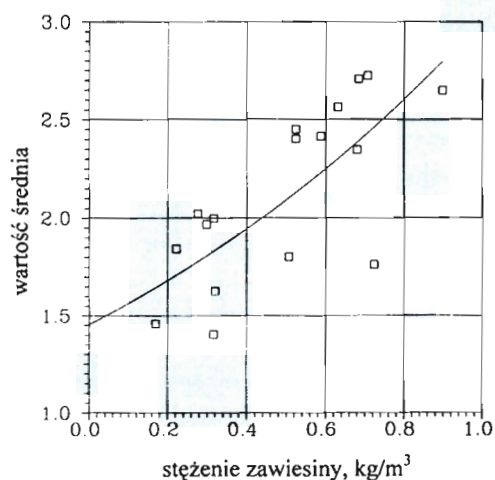
W praktyce otrzymuje się empiryczny ciąg wartości par: „*wielkość graniczna cząstki – efektywność sedymentacji*” wykonując pomiar uziarnienia fazy stałej za pomocą wagi sedymentacyjnej [5, 8, 9]. W tym przypadku, obciążenie powierzchniowe utożsamia się z ilorzem wysokości warstwy zawiesiny nad szalką wagi i czasu upływającego od rozpoczęcia pomiaru.

Do wyznaczania parametrów rozkładu m i σ ze wzoru (1) stosuje się metodę regresji nieliniowej. Wykorzystuje się do tego celu najczęściej pakiet oprogramowania komputerowego *Minuit* pochodzącego z biblioteki CERN-Library [5, 8, 9].

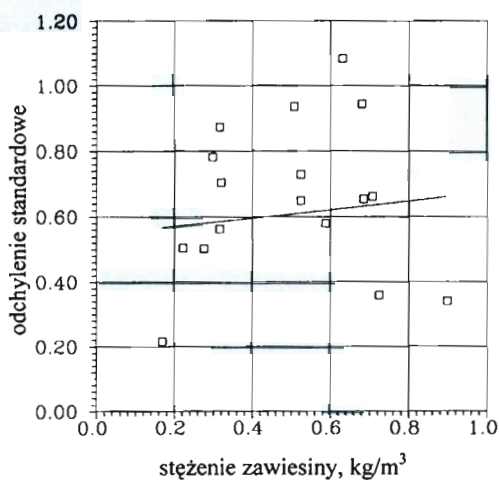
3. Wyniki badań i obliczeń

W dotychczasowych algorytmach projektowania osadników wykorzystujących m.in. wzór (1) do obliczeń efektywności sedymentacji przyjmuje się, że wartości parametrów rozkładu m i σ są stałe dla danego rodzaju zawiesiny, a szczególności przyjmuje się, że dla zawiesin rozcieńczonych nie są one zależne od stężenia cząstek fazy stałej. W badaniach prowadzonych m.in. przez Barfoda, Bindera i Wiessmana, a także przez Herczyńskiego i Pieńkowską [5] wykazano, iż na prędkość opadania cząstek fazy stałej w zawiesinach rozcieńczonych ma istotny wpływ stężenie zawiesiny. Także w badaniach prowadzonych w Katedrze Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska dla różnych rodzajów zawiesin [5, 8, 10] wykazano, że efektywność sedymentacji jest zależna od stężenia cząstek fazy stałej. Zależność tę badano, ujmując wpływ stężenia w wartościach parametrów rozkładu ich prędkości opadania, transformowanego – jako funkcję zmiennej losowej – do rozkładu wielkości cząstek.

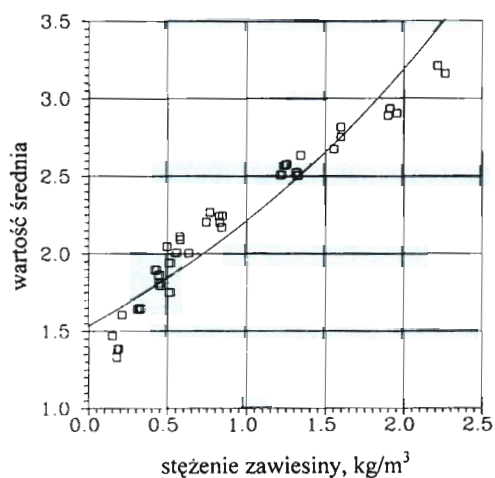
Badania wykonywano za pomocą wagi sedymentacyjnej, stosując metodykę przedstawioną w pracach [5, 8, 10]. Przykładowe wyniki badań dla zawiesiny chromowej oraz bardzo drobno uziarnionej zawiesiny ze stalowni konwertorowej przedstawiono na rysunkach 1-4.



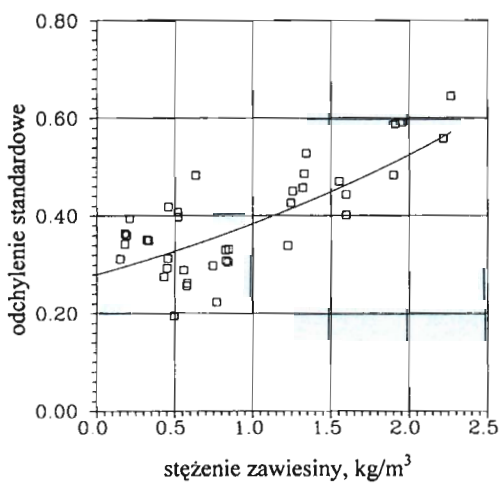
Rys. 1. Zależność wartości średniej rozkładu logarymiczno-normalnego dla zawiesiny chromowej od jej stężenia



Rys. 2. Zależność odchylenia standardowego rozkładu logarymiczno-normalnego dla zawiesiny chromowej od jej stężenia



Rys. 3. Zależność wartości średniej rozkładu logarymiczno-normalnego dla zawiesiny ze stalowni konwertorowej od jej stężenia



Rys. 4. Zależność odchylenia standardowego rozkładu logarymiczno-normalnego dla zawiesiny ze stalowni konwertorowej od jej stężenia

Otrzymane w wyniku pomiarów wartości parametrów rozkładu przyporządkowane zastosowanemu stężeniu zawiesiny aproksymowano za pomocą funkcji wykładniczej (3)

$$y = b \cdot e^{ax} \quad (3)$$

W równaniu (3) x oznacza stężenie zawiesiny, a y oznacza kolejne parametry rozkładu (wartość średnia m i odchylenie standardowe σ). W celu oceny jakości dopasowania wzoru empirycznego do punktów pomiarowych obliczano wartość współczynnika korelacji liniowej.

Otrzymywano zatem następujące związki, w których zmienną niezależną było stężenie zawiesiny s :

$$\text{Wartość średnia } m \quad m = b \cdot e^{a \cdot s} \quad (4)$$

$$\text{Odchylenie standardowe } \sigma \quad \sigma = b \cdot e^{a \cdot s} \quad (5)$$

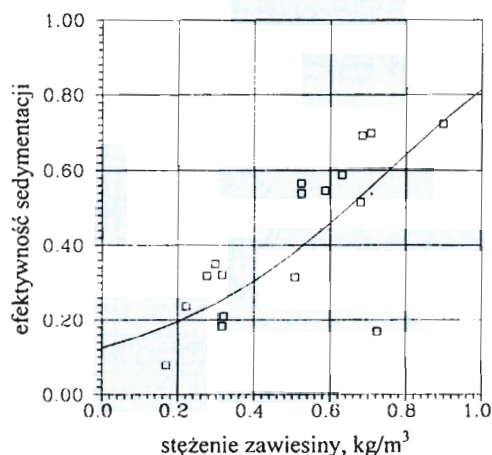
Wyniki aproksymacji zależności parametrów rozkładów wielkości cząstek fazy stałej zawiesin od ich stężenia przedstawiono w tabeli 1. W ostatniej kolumnie tabeli przedstawiono wartość współczynnika korelacji liniowej. Wartości współczynników korelacji nieistotne na poziomie 0,05 zostały zaznaczone przez podkreślenie.

Tab. 1. Wyniki aproksymacji wartości parametrów rozkładu

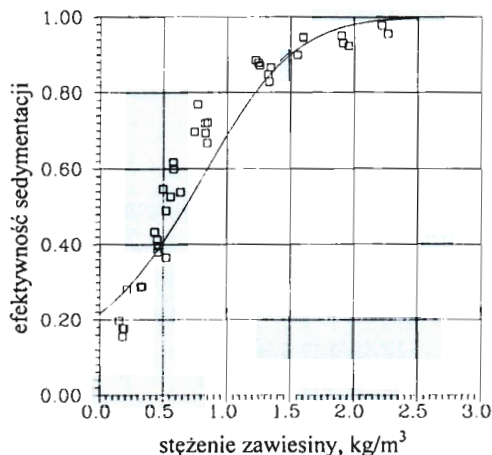
Rodzaj zawiesiny	Parametr rozkładu	Estymator współczynnika regresji a	Estymator współczynnika regresji b	Współczynnik korelacji
Zawiesina chromowa	Wartość średnia m	0,727107	1,454034	0,719
	Odchylenie standardowe σ	0,208049	0,547577	<u>0,107</u>
Zawiesina ze stalowni konwertorowej	Wartość średnia m	0,364731	1,536359	0,940
	Odchylenie standardowe σ	0,322480	0,275963	0,714

Tylko w jednym przypadku – dla zawiesiny chromowej – współczynnik korelacji dla estymacji odchylenia standardowego wskazuje, iż między wartościami odchylenia standardowego a stężeniem zawiesiny nie ma istotnej zależności liniowej.

W celu oceny wpływu stężenia zawiesiny na efektywność sedimentacji, wykorzystując powyższe wzory, obliczano efektywność ze wzoru (1) dla wybranego *a priori* obciążenia powierzchniowego $q = 1$ m/h. Wyniki przedstawiono na wykresach 5 i 6.



Rys. 5. Zależność efektywności sedymentacji dla zawiesiny chromowej od jej stężenia



Rys. 6. Zależność efektywności sedymentacji dla zawiesiny ze stalowni konwertorowej od jej stężenia

4. Podsumowanie

Wyniki badań i obliczeń prowadzą do ogólnego wniosku, iż dla obydwu zawiesin parametry rozkładu (poza jednym przypadkiem – odchylenie standardowe dla zawiesiny chromowej) są istotnie zależne od stężenia zawiesiny. Wśród nich zawsze jest parametr wartość średnia dla rozkładu logarytmiczno-normalnego. Analizując przedstawione na wykresach wyniki badań, można stwierdzić, że występuje wyraźny trend związany ze stężeniem zawiesiny. W niektórych przypadkach rozrzut punktów pomiarowych jest znaczny.

Przyczyną tego rozrzutu są zapewne własności zawiesiny. Przykładowo, jest znany z badań prowadzonych w poprzednich latach, istotny wpływ stężenia na prędkość opadania cząstek fazy stałej dla rozcieńczonych zawiesin hutniczych, których typowym reprezentantem jest zawiesina ze stalowni konwertorowej. Można przypuszczać, iż inne zawiesiny z procesów hutniczych (zawiesina z procesu spiekania wsadu wielkopieczowego, zawiesina wielkopieczowa i zawiesiny walcownicze) ujawniłyby podobne właściwości.

Inną przyczyną obserwowanego rozrzutu punktów pomiarowych mogą być zjawiska towarzyszące rozpoczęciu procesu pomiaru na wadze sedymentacyjnej oraz zjawiska opływu szalki wagi przez zawiesinę. Wykonując badania, dołożono wszelkich starań, aby ten wpływ zminimalizować. Wydaje się, iż możliwości udo-

skonalenia techniki pomiaru zostały wyczerpane. Nie można však wykluczyć opracowania w przyszłości nowej metody opisu matematycznego opadania cząstek fazy stałej na szalkę wagi z uwzględnieniem wpływu procesu mieszania poprzedzającego rozpoczęcie pomiaru. Obecnie nie ma jednak podstaw do kwestionowania znaczenia wagi sedymentacyjnej jako najlepszego urządzenia do odwzorowania procesu sedymentacji i wykorzystania wyników pomiaru uziarnienia do projektowania procesów i urządzeń sedymentacyjnych.

W powyższym kontekście, na szczególną uwagę zasługują wykresy zależności efektywności sedymentacji od stężenia zawiesiny (rysunki 5 i 6). Analizując rozrzut punktów na tych wykresach można stwierdzić, że w obydwu przypadkach jest on znacznie mniejszy od rozrzutu charakteryzującego zależności wartości parametrów rozkładu statystycznego wielkości cząstek od stężenia zawiesiny. Można powiedzieć, iż zależność efektywności sedymentacji od stężenia zawiesiny stanowi obraz „wygładzonego” wpływu stężenia na wartości parametrów. Ponadto, wykresy zależności efektywności sedymentacji od stężenia zawiesiny jednoznacznie wskazują na istotny wpływ stężenia zawiesiny na efektywność sedymentacji.

W konkluzji powyższych rozważań można stwierdzić, iż stosując wzór (1) do obliczania efektywności sedymentacji należy uwzględniać stężenie zawiesiny. Sposób uwzględniania stężenia zawiesiny powinien polegać na stosowaniu we wzorze (1) wartości parametrów rozkładu wyznaczonych dla zawiesiny o stężeniu jak najbliższym stężeniu występującemu w rzeczywistym procesie.

Literatura

1. **Bandrowski J., Hehlmann J., Merta H., Ziolo J.:** Opracowanie metody optymalnego doboru wysokosprawnych osadników z wypełnieniem na podstawie doświadczalnych badań osadników. Inż. i Ap. Chem. 1, 1997, 3–8.
2. **Bandrowski J., Merta H., Ziolo J.:** Modele osadników z wypełnieniem. Mat. XVI Ogólnopol. Konf. Nauk. Inż. Chem. i Proc., t. 1, Wyd. Politechniki Gdańskiej, 1995, 180–185.
3. **Kowalski W. P., Mięso R.:** Badania wielostrumieniowego procesu klarowania i zagęszczania zawiesiny ze stalowni konwertorowej. Problemy w Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Hutniczych i Ceramicznych, Kraków, 2000, t. 2, 255–262.
4. **Kowalski W. P.:** Zastosowania przemysłowe osadników wielostrumieniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, z. 28, Łódź, 2000, 113–120.
5. **Kowalski W. P., Banaś M., Mięso R.:** Charakterystyki granulometryczne zawiesiny ze stalowni konwertorowej. Mat. II Konf. Naukowo-Technicznej

- nt. „Problemy Utylizacji Odpadów w Hutnictwie Żelaza i Stali”, Kraków, 2000, 69-76.
6. **Kowalski W. P.:** Modelowanie matematyczne procesu klarowania zawiesin przemysłowych. Mat Ogólnopolskiej Konferencji pn. III Forum Inżynierii Ekologicznej, Politechnika Lubelska, Nałęczów, 2000, 150-158.
 7. **Kowalski W. P.:** Rozwój urządzeń do grawitacyjnego wysokosprawnego klarowania zawiesin i zagęszczania osadów. Zesz. Nauk. Politechn. Białostockiej, Nauki Techniczne Nr 139, s. Budowa i Eksploatacja Maszyn, z. 8, Białystok, 2001, 285-294.
 8. **Kowalski W. P., Banaś M., Mięso R.:** Charakterystyki granulometryczne zawiesin o bardzo drobnych cząstkach fazy stałej. Zesz. Nauk. Politechn. Białostockiej, Nauki Techniczne Nr 139, s. Budowa i Eksploatacja Maszyn, z. 8, Białystok, 2001, 277-284.
 9. **Kowalski W. P., Banaś M., Mięso R.:** Badania charakterystyk granulometrycznych i sedymentacji zawiesiny chromowej. Inż. Chem. i Proc., t. 22, 2001, 771-776.
 10. **Kowalski W. P., Banaś M.:** Wpływ stężenia zawiesiny na prędkość opadania cząstek fazy stałej w zawiesinach rozcieńczonych. Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, 6, 2002, 157-164.
 11. **Merta H.:** Projektowanie osadników z wypełnieniem. Część 1. Parametry projektowe i technologiczne osadników płytowych i rurowych oraz ich klasyfikacja. Inż. i Ap. Chem., 2, 1996, 3-10.
 12. **Ziolo J.:** Influence of the system geometry on the sedimentation effectiveness of lamella settlers. Chem. Engng. Sci., vol. 51, 1, 1996, 149-153.

THE INFLUENCE OF SOLID PHASE CONCENTRATION ON THE PARTICLE SIZE DISTRIBUTION IN SEDIMENTATION PROCESS

Abstract: In the paper there are presented the method of analysis the results of particle size distribution in industrial suspensions take into consideration of suspension solid phase concentration. The graphs of particle size distribution parameters dependence on solid phase suspension concentration are presented. The results of calculation of empirical formulas coefficients determined the influence of solid phase concentration on the particle size distribution in sedimentation process is presented.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego nr 4T09C 001 22 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

Włodzimierz P. Kowalski, Krzysztof Kołodziejczyk, Tomasz Zacharz^{*}

BADANIA WPŁYWU KĄTA POCHYLENIA PRZEWODÓW WIELOSTRUMIENIOWYCH NA PRĘDKOŚĆ SEDYMENTACJI W PROCESIE ZAGĘSZCZANIA ZAWIESIN

Streszczenie: W artykule przedstawiono wpływ kąta pochylenia pojedynczego przewodu wkładu wielostrumieniowego, stężenia zawiesiny oraz wysokości warstwy zawiesiny na prędkość sedymentacji. Badania były prowadzone na dwóch rodzajach zawiesin przemysłowych odpowiednio zawiesiny ze stalowni konwertorowo-tlenowej oraz zawiesiny powstałej w procesie odpylania gazu wielkopiecowego. Badania statyczne były prowadzone dla kątów pochylenia przewodu wkładu wielostrumieniowego odpowiednio 90°, 75°, 60°, 45° oraz wysokości warstwy zawiesiny wynoszącej 0,92; 0,72 i 0,52 m. Z przeprowadzonych badań wynika, iż pochylenie cylindrów pomiarowych powoduje kilkakrotne zwiększenie prędkości sedymentacji. Wpływ ten jest bardziej widoczny dla wyższych słupów oraz wyższych stężeń zawiesiny.

1. Wprowadzenie

Sedymentacja zawiesin, jako jedna z mechanicznych sposobów rozdziału cząstek fazy stałej od zawiesiny, jest powszechnie wykorzystywana w różnych branżach gospodarki. Ma ona szczególne znaczenie w gałęziach przemysłowych, gdzie przy zastrzonych przepisach ochrony środowiska wysoka efektywność oczyszczania wody jest bardzo pożądana. Dlatego też znajomość zachowania się zawiesin przemysłowych w znacznym stopniu ułatwia późniejsze projektowanie urządzeń sedymentacyjnych.

Obecnie dąży się nie tylko do stosowania zamkniętych obiegów wodnych, ale również do odzyskania i powtórnego wykorzystania materiałów znajdujących się

^{*} Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

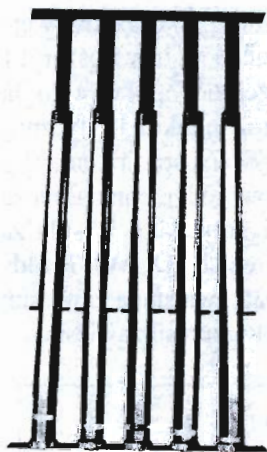
w wodzie obiegowanej czy to linii produkcyjnej czy to procesu technologicznego, (które nierzadko stanowią cenny surowiec przydatny do powtórnego wykorzystania). Prowadzone prace badawcze w Katedrze Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska nad urządzeniem, w którym jednocześnie można by było realizować proces klarowania jak i zagęszczania zawiesiny mogą być bardzo pomocne, gdyż urządzenie takie pozwoliłoby na uproszczenie układu służącego do oczyszczania zawiesiny. Zamiast stosować dwa osobne urządzenia można by było je zastąpić jednym znacznie mniejszym urządzeniem dającym rezultaty oczyszczania zawiesiny na tym samym lub lepszym poziomie [2, 7, 8].

2. Metoda

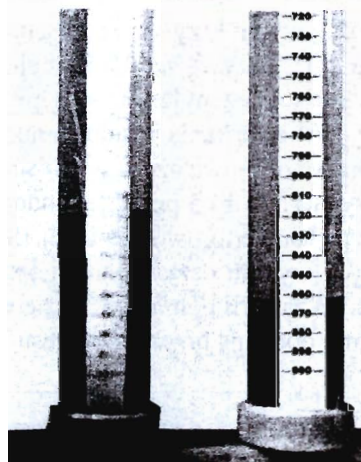
W celu zbadania sedymentacji okresowej dwóch zawiesin przemysłowych o wysokich stężeniach przeprowadzono testy sedymentacyjne [10], z których otrzymano szereg krzywych sedymentacyjnych charakteryzujących zachowanie danej zawiesiny, gdyż to było jednym z elementów badań nad opracowaniem projektu nowego urządzenia. Pierwsza zawiesina pochodziła z procesu oczyszczania gazów wylotowych z wielkiego pieca, natomiast druga pochodziła z obiegu wodnego stalowni konwertorowo-tlenowej [9]. Celem badań było również określenie prędkości sedymentacji dla różnych stężeń zawiesiny: od 20 do 100 kg/m³, dla kątów pochylenia przewodu wkładu wielostrumieniowego odpowiednio 90°, 75°, 60° i 45° oraz dla wysokości warstwy zawiesiny wynoszącej 0,92, 0,72 i 0,52 m.

Analizując procesy zachodzące w trakcie pracy stanowiska laboratoryjnego służącego do jednoczesnego klarowania i zagęszczania zawiesin założono, że do strefy zagęszczania jest wprowadzana zawiesina, w której znajdują się wszystkie cząstki stałe, jakie zostały wprowadzone do stanowiska wraz z zawiesiną (założenia, że proces klarowania przebiega ze 100% sprawnością). Takie uproszczenie pozwoliłoby przyjąć, że w strefie zagęszczania mamy do czynienia z procesem sedymentacji współprądowej.

Dla takich założeń w urządzeniach sedymentacyjnych służących również do zagęszczania zawiesin należałoby tak dobierać parametry przepływowe w strefie zagęszczania, aby czas sedymentacji i zagęszczania nie przekraczał punktu krytycznego z krzywej sedymentacji, gdyż poniżej tego punktu prędkość sedymentacji jest bardzo niska, a więc prowadzenie sedymentacji w tym zakresie staje się nieopłacalne ze względu na znikomy wzrost stężenia zawiesiny. Dalsze oddzielanie części stałej od cieczy należy prowadzić innymi metodami jak np. przy użyciu



Rys. 1. Stanowisko badawcze wraz z cylindrami



Rys. 2. Kuwety pomiarowe – wyskalowany cylinder

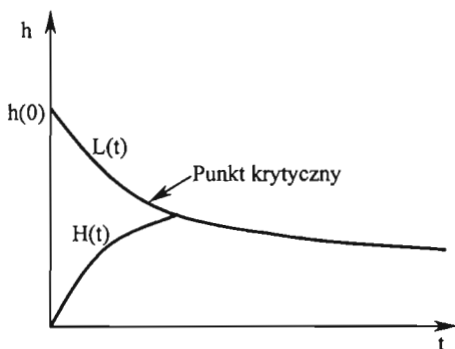
Przeprowadzenie testu sedymentacyjnego zawiesiny pozwoli na określenie parametrów urządzenia, jak również parametrów, z jakimi powinien być prowadzony proces sedymentacji i zagęszczania.

Badania były prowadzone w oparciu o normę PN-G-04570 [10]. Prowadzono je na stanowisku laboratoryjnym i polegały na obserwacji procesu sedymentacji dwóch zawiesin umieszczonych w specjalnie przygotowanych cylindrach o wysokości 1 m i średnicy wewnętrznej 0,042 m (rysunek 2).

Stanowisko laboratoryjne składało się ze specjalnego łoża wyposażonego w uchwyty do podtrzymywania cylindrów pomiarowych, które były wyskalowane na długości 0,92 m z dokładnością 0,01 m. Początkowa wysokości słupa zawiesiny wynosiła odpowiednio dla kolejnych pomiarów: 0,92, 0,72 i 0,52 m. Dla każdej wysokości przygotowano pięć stężeń zawiesiny w zakresie od 7 do 150 kg/m³.

Badanie rozpoczynano od dokładnego wymieszania zawartości cylindra. Następnie, co 5 minut następował pomiar wysokości przesuwającej się granicy rozdziału między cieczą a zawiesiną. Czas pomiaru wynosił od 2 do 3 godzin.

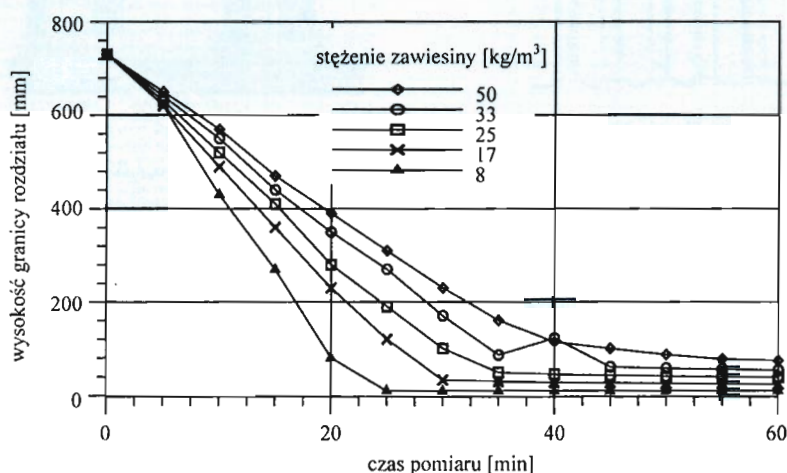
Dla wyżej wymienionych parametrów oraz różnych kątów pochylenia cylindrów otrzymano szereg krzywych sedymentacyjnych. Na rysunku 3 zaprezentowano przykładowy wykres testu sedymentacyjnego. Składa się on



Rys. 3. Przykładowy wykres testu sedymentacyjnego

z dwóch krzywych: krzywej sedymentacyjnej zawiesiny $L(t)$ oraz krzywej narastania osadu $H(t)$. Krzywą sedymentacyjną można podzielić na trzy obszary: prostoliniowy o stałym nachyleniu, następnie krzywą przejściową, która to łączy się z krzywą $H(t)$ narastania osadu (punkt ten nosi nazwę punktu krytycznego) oraz ostatnia krzywoliniowa część wykresu, która jest nazywana strefą kompresji [1].

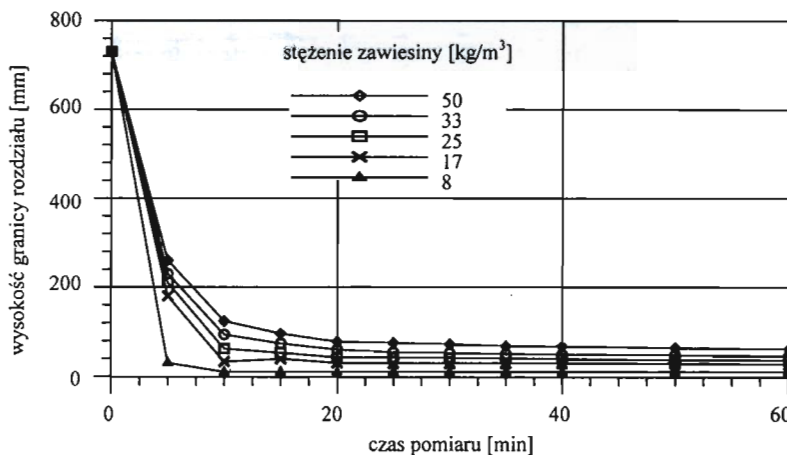
Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono uzyskane krzywe sedymentacji dla zawiesiny ze stalowni konwertorowo-tlenowej (STK) oraz na rysunkach 6 i 7 dla zawiesiny powstałej w wyniku oczyszczania gazów wielkopiecowych (OGW). Przedstawione krzywe dotyczą serii pomiarów, gdzie wysokość początkowa słupa zawiesiny wynosiła 0,72 m i obrazują przebieg procesu sedymentacji i kompresji zawiesiny.



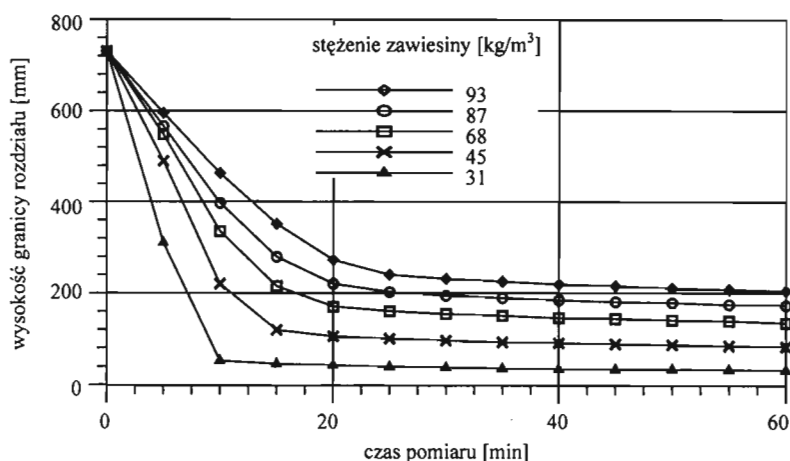
Rys. 4. Krzywe sedymentacyjne dla zawiesiny ze stalowni konwertorowo-tlenowej kąt pochylecia cylindra 90° oraz początkowa wysokość słupa zawiesiny 0,72 m

Z przebiegu krzywych sedymentacji widzimy, że w początkowym odcinku posiadają one prawie stałe nachylenie, które po pewnym czasie, różnym dla różnych zawiesin, znacznie się zmienia, aby po krótkim czasie ponownie ustabilizować się. Analizując krzywą możemy wyznaczyć na niej pewien punkt, zwany punktem krytycznym, który dzieli nam krzywą sedymentacji na dwie części. Krzywa sedymentacji znajdująca się powyżej tego punktu reprezentuje nam zakres, w którym prowadzenie procesu sedymentacji jest korzystne i uzasadnione, gdyż w tym zakresie dana zawiesina posiada znaczną prędkość sedymentacji. W drugiej części krzywej, poniżej tego punktu prowadzenie sedymentacji jest słabo uzasadnione. Prędkości sedymentacji są niskie, zawiesina ulega jedynie kompresji. Kolejny wniosek, który nasuwa się przeprowadzając analizę wykresów to fakt, że po-

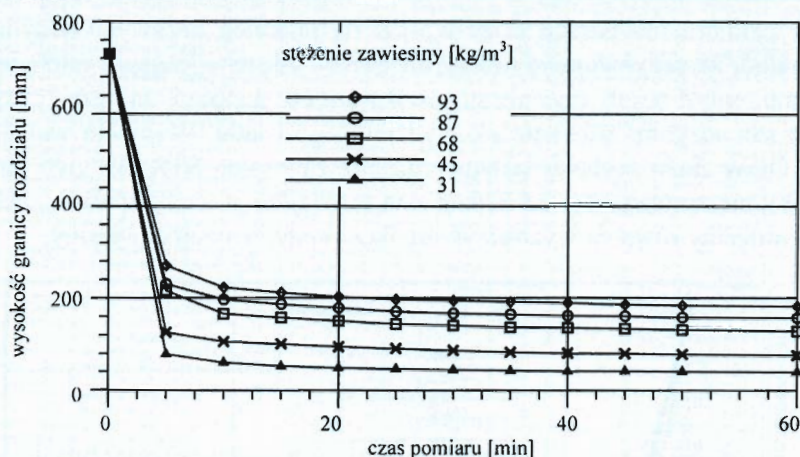
chylenie cylindra ma bardzo duży wpływ na przebieg krzywych sedymentacji. Wynika stąd, że sedymentację należy prowadzić jak największym odchyleniu cylindra od pionu. Z reguły obecnie stosowany kąt 60° uważany za bezpieczny, jeżeli chodzi o samoczynne zsuwanie się wydzielonego osadu. Wyraźnie widać, że zawiesina OGW dużo szybciej sedymentuje niż zawiesina STK. W związku z tym należałoby się spodziewać, że będzie ona łatwiejsza w oczyszczaniu. Z kształtu krzywej możemy również wyznaczyć prędkość sedymentacji zawiesiny.



Rys. 5. Krzywe sedymentacyjne dla zawiesiny ze stalowni konwertorowo-tlenowej kąt pochylenia cylindra 45° oraz początkowa wysokość słupa zawiesiny 0,72 m

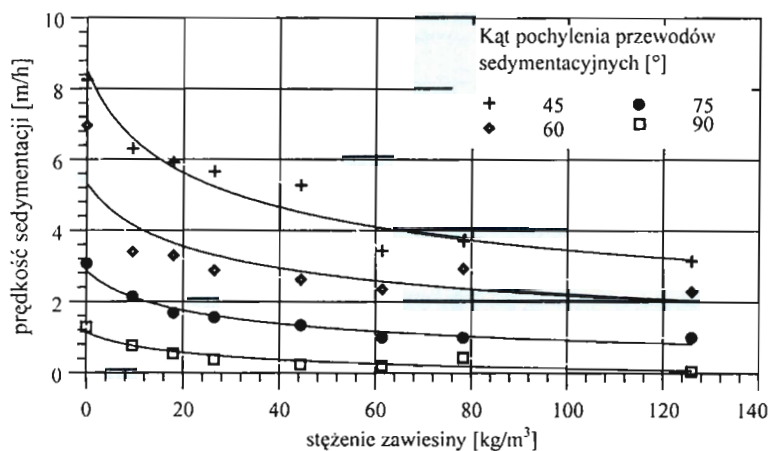


Rys. 6. Krzywe sedymentacyjne dla zawiesiny z odpylania gazu wielkopiecowego kąt pochylenia cylindra 90° oraz początkowa wysokość słupa zawiesiny 0,72 m

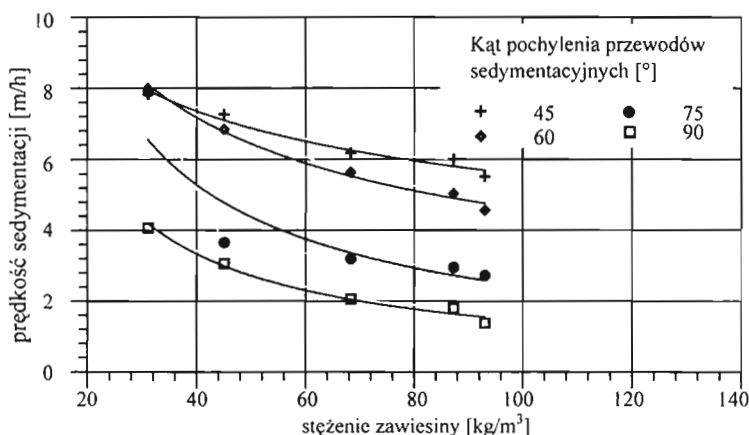


Rys. 7. Krzywe sedymentacyjne dla zawiesiny z odpylania gazu wielkopieczowego kąta pochylenia cylindra 45° oraz początkowa wysokość słupa zawiesiny 0,72 m

Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono zależność prędkości sedymentacji od stężenia zawiesiny zarówno dla STK jak i OGW. Wartość kąta pochylenia cylindrów różnicuje prędkość sedymentacji w znacznym stopniu. Zgodnie z oczekiwaniami prędkość sedymentacji jest największa przy najmniejszych stężeniach zawiesiny oraz największym kącie pochylenia cylindra (45°) i maleje nawet 4-krotnie dla kąta 90° . Jednakże należy zauważyć, że dla zawiesiny OGW zróżnicowanie prędkości sedymentacji dla kąta 60° i 45° jest niewielkie, czego w ogóle nie obserwuje się przy zawieszynie STK.



Rys. 8. Wykres prędkości sedymentacji w zależności od stężenia zawiesiny (STK)



Rys. 9. Wykres prędkości sedymentacji w zależności od stężenia zawiesiny (OGW)

3. Podsumowanie

Podsumowując wyniki badań można powiedzieć, że praktyczne wykorzystanie jednocześnie procesu klarowania jak i zagęszczania zawiesiny jest sposobem prowadzącym do bardzo interesujących poznawczych i praktycznych rozwiązań technologicznych. Ich praktyczne zastosowanie pozwoliłoby na uproszczenie układu służącego do oczyszczania zawiesiny. Zamiast stosować dwa osobne urządzenia można je zastąpić jednym znacznie mniejszym urządzeniem dającym rezultaty oczyszczania zawiesiny na tym samym lub lepszym poziomie. Dlatego też znajomość zachowania się zawiesin, ich prędkość sedymentacji, kształt krzywych sedymentacyjnych jest bardzo ważna z punktu widzenia projektowego.

Literatura

1. Bandrowski J., Merta H., Ziolo J.: *Sedymentacja zawiesin zasady i projektowanie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2001.
2. Gęga J., Kowalski W. P., Mięso R., Kołodziejczyk K., Zacharz T.: *Badania nowych konstrukcji wielostrumieniowych urządzeń sedymentacyjnych*. Mat. II Konf. Naukowo-Technicznej nt. "Problemy Utylizacji Odpadów w Hutnictwie Żelaza i Stali", Kraków, 2000, 27-32.

3. **Kowalski W. P.:** *Analiza teoretyczna i badania procesu sedymentacji wielostrumieniowej*. Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, s. Monografie, 3, Wyd. WIMIR AGH, Kraków, 2001.
4. **Kowalski W. P.:** *Podstawy teoretyczne projektowania osadników z wkładami wielostrumieniowymi*. Zesz. Nauk. AGH, 1500, s. Mechanika, 27, Kraków 1992, 132 s.
5. **Kowalski W. P.:** *Rozwój urządzeń do grawitacyjnego wysokosprawnego klarowania zawieszin i zagęszczania osadów*. Zesz. Nauk. Politechn. Białostockiej, Nauki Techniczne Nr 139, seria: Budowa i Eksploatacja Maszyn, z. 8, Białystok, 2001.
6. **Kowalski W. P.:** *Zastosowania przemysłowe osadników wielostrumieniowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, s. Inżynieria Chemiczna, z. 28, Łódź, 2000, 113-120.
7. **Kowalski W. P., Kołodziejczyk K., Zacharz T.:** *Badania wielostrumieniowej sedymentacji współprądowej*. Inż. Chem. i Proc., t.22, 2001, 777-782.
8. **Kowalski W. P., Kołodziejczyk K., Zacharz T.:** *Konstrukcja modelu osadnika z przeciwprądowym i współprądowym wypełnieniem wielostrumieniowym*. Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, 6, 2002, 165-172.
9. **Kowalski W. P., Mięso R.:** *Badania wielostrumieniowego procesu klarowania i zagęszczania zawiesziny ze stalowni konwertorowej*. Probl. w Konstr. i Ekspł. Masz. Hutn. i Ceram., 2000, AGH, Kraków, t.2, 255.
10. **Polska Norma PN-G-04570:** *Przeróbka mechaniczna węgla kamiennego Zawiesziny wodno-mułowe. Oznaczanie prędkości osadzania części stałych*, 1997.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE ANGLE OF INCLINATION OF THE MULTI FLUX LAMELLA ON THE SEDIMENTATION VELOCITY IN PROCESS OF SEDIMENTATION CONCENTRATION

Abstract: In the article, the influence of the angle of inclination of the single multi flux lamella package lead, concentration of suspension and the height of layer on the sedimentation velocity was presented. The research was done with the usage of two kinds of industrial suspension. One came from converted-oxygen plant and the other was the result of dust extraction of the blast-furnace gas. Static research was done for the angles of 90°, 75°, 60°, 45° and with the height of suspension equal to 0,92, 0,72 and 0,52 m. The result of the research showed that the inclination of the research cylinders results in the multiplying of the sedimentation velocity. The influence of the angle of inclination of the single multi flux lamella package lead is clearly visible especially in the case of higher poles and higher density of suspension.

Włodzimierz P. Kowalski^{*}, Rafał Mięso^{*}

SYMULACJE KOMPUTEROWE PROCESU KLAROWANIA ZAWIESIN W OSADNIKU PROSTOPADŁOPRĄDOWYM

Streszczenie: W artykule przedstawiono uproszczony model matematyczny procesu sedymentacji prostopadłoprądowej oraz wyniki symulacji komputerowej procesu klarowania zawiesin w osadniku prostopadłoprądowym na podstawie uproszczonego modelu matematycznego.

1. Wprowadzenie

We współczesnych procesach wytwórczych oraz w gospodarce komunalnej powszechnie występują nietrwałe układy dyspersyjne składające się z dwu faz: rozproszonej i rozpraszającej, zwane zawiesinami. Oddzielanie cząstek fazy stałej z zawiesin ciekłych, zwłaszcza droбноziarnistych, jest często procesem złożonym i zaliczanym do jednych z trudniejszych problemów. Praktyczna realizacja procesu sedymentacji odbywa się w osadnikach grawitacyjnych.

W ostatnich latach coraz częściej, a zwłaszcza w obiegach wodnych o niskich natężeniach przepływu wynoszącym od kilku do kilkudziesięciu metrów sześciennych na godzinę znajdują zastosowania osadniki oparte na sedymentacji wielostrumieniowej.

W zależności od kierunku przepływu zawiesiny względem kierunku zsuwania się osadzonych cząstek, przyjęto podział osadników wielostrumieniowych na przeciwprądowe (kierunki równoległe, zwroty przeciwne), współprądowe (kierunki równoległe, zwroty zgodne) i prostopadłoprądowe (kierunki prostopadłe). Przez analogię, przyjęto rozróżnianie przeciwprądowych, współprądowych i prostopadłoprądowych procesów sedymentacji.

^{*} Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Osadniki wielostrumieniowe o przeciwpłdowym przepływie zawiesiny zastępują z powodzeniem różnorodne przestarzałe osadniki komorowe a także inne, mniej doskonałe urządzenia stosowane do rozdzielania zawiesin. Dzięki zwartości konstrukcji i niewielkim wymiarom umożliwiają udoskonalenie wielu procesów technologicznych poprzez wprowadzenie dodatkowych operacji oddzielania cząstek fazy stałej zawiesin.

Z kolei procesy wielostrumieniowej sedymentacji współpłdowej – teoretycznie są uznawane w literaturze za wydajniejsze od przeciwpłdowych, niestety – z powodu mieszania się w dolnej części przewodów zagęszczonego osadu i składowanej cieczy – nie są stosowane, ponieważ osiągane w nich efektywności sedymentacji są niższe od efektywności otrzymywanych w układach przeciwpłdowych.

Procesy wielostrumieniowej sedymentacji prostopłdowej nie zostały, jak dotychczas, docenione i zastosowane. Nieliczne informacje zamieszczane sporadycznie w przedmiotowej literaturze wskazują jednak na potencjalne, bardzo korzystne perspektywy ich zastosowań. Na podstawie wcześniejszych badań prowadzonych w Katedrze Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska, można stwierdzić, iż zastosowanie przeciwpłdowej sedymentacji wielostrumieniowej umożliwiło co najwyżej 5÷6-krotne zwiększenie wydajności urządzeń sedymentacyjnych przy zachowaniu identycznej efektywności sedymentacji, natomiast wielostrumieniowe osadniki wykorzystujące proces sedymentacji prostopłdowej – ze względu na ich konstrukcję – będą umożliwiać znacznie wyższy, szacowany na 10÷20-krotny, wzrost wydajności lub adekwatny wzrost efektywności sedymentacji.

2. Uproszczony model matematyczny procesu sedymentacji prostopłdowej

W porównaniu do modelowania matematycznego procesu sedymentacji przeciwpłdowej, modelowanie matematyczne procesu sedymentacji prostopłdowej ma (jak dotychczas) w literaturze przedmiotowej nikłą reprezentację. Jak się wydaje, wynika to z ograniczonego stosowania urządzeń wykorzystujących ten proces – inaczej mówiąc – z niedoceniań wartości tego typu urządzeń.

Opierając się uogólnieniu teorii sedymentacji Hazena przedstawionym w pracach [5, 6], w których wykazano, iż pochylenie dna osadników konwencjonalnych nie zaprzecza teorii sedymentacji Hazena [4] oraz wykazano, że idealizacja przepływu zawiesiny w elementarnych przewodach wielostrumieniowych

wnosi niewielkie obniżenia dokładności wyników obliczeń a zarazem znacznie je upraszcza i skraca czas ich wykonania a także kierując się opiniami zawartymi w pracach cytujących powyższe modele matematyczne [1÷3, 8, 10] oraz wynikami własnych obliczeń i symulacji komputerowych, przedstawiono poniżej algorytm obliczeń oparty na cytowanych powyżej opracowaniach.

Przyjmuje się, że powierzchnia zawarta w urządzeniu sedymentacyjnym ma zasadnicze znaczenie dla efektywności procesu. Gdy urządzenie nie jest wypełnione wkładami, przyjmuje się powierzchnię sedymentacji równą powierzchni urządzenia „w planie”, inaczej mówiąc, równą powierzchni tzw. lustra cieczy. W urządzeniu wypełnionym wkładami wielostrumieniowymi rozróżnia się dwie powierzchnie sedymentacyjne: powierzchnię bez wkładów F_1 oraz powierzchnię zawartą w przewodach pakietów F_2 .

Powierzchnię F_2 zawartą w przewodach pakietów oblicza się jako iloczyn powierzchni zajmowanej przez warstwę wkładów i wskaźnika nazywanego powierzchnią właściwą p_h . Wskaźnik powierzchni właściwej p_h oblicza się na podstawie cech konstrukcyjnych pakietu oraz założonych charakterystyk przepływu zawiesiny w przewodach (rozwijający się przepływ laminarny, rozwinięty przepływ laminarny lub przepływ o prostokątnym rozkładzie prędkości). Wskaźnik powierzchni właściwej p_h oznacza krotność wzrostu powierzchni sedymentacyjnej zawartej w pakiecie w odniesieniu do powierzchni zajmowanej przez pakiet. Jak wykazano w pracy [5] powierzchnie F_1 i F_2 (przy pewnych założeniach) są addytywne. Zatem do dalszych obliczeń można przyjąć sumę powierzchni $F = F_1 + F_2$ jako powierzchnię uczestniczącą w procesie sedymentacji. Znając natężenie przepływu zawiesiny Q , oblicza się wskaźnik obciążenia powierzchniowego q , który przyrównuje się do prędkości opadania cząstek granicznych dla danych warunków procesu

$$q = \frac{Q}{F_1 + F_2} \frac{Q}{F} = v(d_g) \quad (1)$$

Prędkość $v(d_g)$ opadania ziaren o wielkości granicznej d_g oblicza się, na podstawie analizy warunków opływu cząstek przez płyn, najczęściej ze wzoru Stokesa, w którym ρ i ρ_0 oznaczają odpowiednio gęstość cząstek fazy stałej i gęstość cieczy, μ_0 oznacza dynamiczny współczynnik lepkości zawiesiny a g – przyspieszenie ziemskie

$$v(d_g) = \frac{1}{18} \frac{(\rho - \rho_0)g}{\mu_0} d_g^2 \quad (2)$$

Ze wzoru (2) oblicza się wielkość cząstki granicznej d_g . Znając typ rozkładu statystycznego wielkości cząstek fazy stałej $f(d)$ oraz parametry rozkładu otrzymane z pomiaru uziarnienia, oblicza się efektywność sedymentacji η

$$\eta = 1 - \int_0^{d_g} f(d) dd + \int_0^{d_g} d^2 f(d) dd \quad (3)$$

Konkretna postać wzoru (3) jest zależna od typu rozkładu statystycznego wielkości cząstek fazy stałej $f(d)$. Dla niektórych przypadków opracowano [5] analityczne rozwiązania zależności (3).

Gdy rozkład statystyczny wielkości cząstek fazy stałej $f(d)$ jest rozkładem logarytmiczno-normalnym o funkcji gęstości rozkładu zależnej od parametrów m i σ (wartość średnia i odchylenie standardowe rozkładu logarytmów naturalnych wielkości cząstek)

$$f(d; m, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi d\sigma}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln d - m}{\sigma}\right)^2\right) \quad (4)$$

wówczas postać analityczna równania (3) uzależniona dla argumentu a od dystrybucyj rozkładu normalnego $\Phi_N(a)$, jest następująca

$$\begin{aligned} \eta(d_g; m, \sigma) = & 1 - \Phi_N\left(\frac{\ln d_g - m}{\sigma}\right) + \\ & + \exp\{2 \cdot [\sigma^2 - (\ln d_g - m)]\} \cdot \Phi_N\left(\frac{\ln d_g - m}{\sigma} - 2 \cdot \sigma\right) \end{aligned} \quad (5)$$

Aby obliczyć efektywność sedymentacji ze wzoru (5) należy znać parametry rozkładu statystycznego wielkości cząstek oraz wielkość cząstek o średnicy granicznej d_g . Wartości parametrów rozkładu statystycznego wielkości cząstek fazy stałej otrzymuje się na podstawie badań ich charakterystyki granulometrycznej [7].

3. Symulacje komputerowe procesu sedymentacji prostopadłoprądowej

Symulacje komputerowe procesu sedymentacji prostopadłoprądowej przeprowadzono w oparciu o model matematyczny przedstawiony powyżej. Symulacje komputerowe polegały na obliczaniu efektywności sedymentacji przy założonych parametrach geometrycznych osadnika, własnościach fizycznych zawiesiny oraz natężeniu przepływu zawiesiny.

Parametry geometryczne osadnika ujęto w powierzchni sedymentacyjnej zależnej od wymiarów osadnika, liczby płyt tworzących pakiet wielostrumieniowy oraz kąta nachylenia płyt. W obliczeniach symulacyjnych uwzględniano następujące własności fizyczne zawiesiny: gęstość cząstek fazy stałej, gęstość cieczy, temperaturę zawiesiny reprezentowaną przez dynamiczny współczynnik jej lepkości oraz uziarnienie cząstek fazy stałej. Uziarnienie cząstek fazy stałej było reprezentowane przez rozkład prawdopodobieństwa zmiennej losowej. Do obliczeń przyjęto, że rozkład cząstek fazy stałej jest logarytmiczno-normalny.

Natężenie przepływu zawiesiny oraz powierzchnię sedymentacyjną reprezentującą parametry geometryczne osadnika ujęto we wskaźniku obciążenia powierzchniowego, będącego ilorzem natężenia przepływu i powierzchni sedymentacyjnej. Znając obciążenie powierzchniowe, gęstość cząstek fazy stałej oraz gęstość i dynamiczny współczynnik lepkości fazy ciekłej, było możliwe obliczanie wielkości cząstki – dla danych warunków procesu sedymentacji – granicznej.

W powyższy sposób problem symulacji komputerowych procesu sedymentacji udało się sprowadzić do obliczania wartości efektywności sedymentacji jako funkcji zależnej od obciążenia powierzchniowego q , ujmującego parametry geometryczne osadnika i natężenie przepływu zawiesiny, własności fizycznych zawiesiny (w szczególności gęstości cząstek fazy stałej i rozkładu wielkości cząstek reprezentowanego przez parametry rozkładu logarytmiczno-normalnego: m – wartość średnia logarytmów naturalnych wielkości cząstek oraz σ – odchylenie standardowe logarytmów naturalnych wielkości cząstek).

Formalnie, zależność poddawaną symulacji można najkrócej przedstawić następująco

$$\eta = f(q, m, \sigma, d_g) \quad (6)$$

przy czym

$$q = \frac{Q}{F} = v(d_g) \quad (7)$$

oraz

$$d_g = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu_0}{(\rho - \rho_0) \cdot g} \cdot q} \quad (8)$$

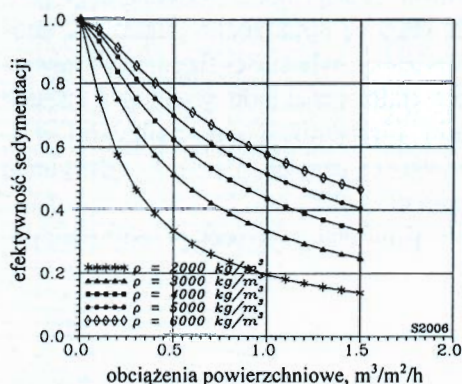
Dynamiczny współczynnik lepkości μ_0 obliczano z zależności

$$\mu_0 = \frac{1,79 \cdot 10^{-3}}{1 + 0,0337 + 0,000222 \cdot t^2} \quad (9)$$

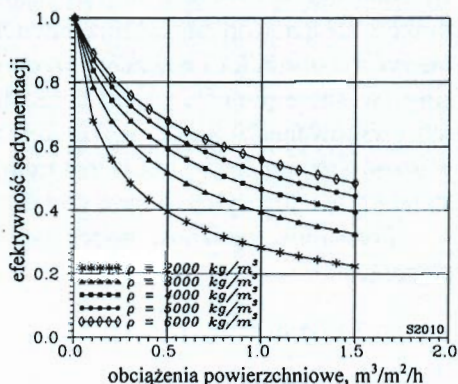
gdzie: t – temperatura zawiesiny, °C

We wszystkich obliczeniach przyjmowano temperaturę zawiesiny $t = 20^\circ\text{C}$, dla której dynamiczny współczynnik lepkości wynosił $\mu_0 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$.

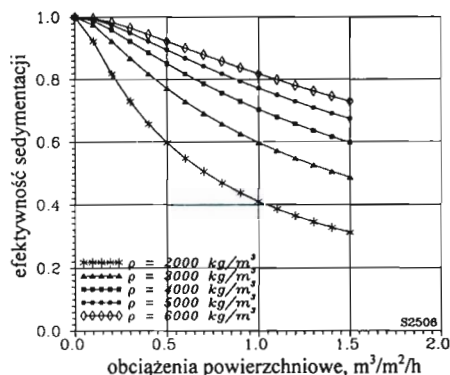
Na rysunkach 1÷8 przedstawiono wybrane wyniki symulacji komputerowej. Wykresy przedstawiają zależność efektywności sedymentacji od obciążenia powierzchniowego (w zakresie od 0 do $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$) dla wybranych wartości parametrów rozkładu logarytmiczno-normalnego: $m = 2,0$ 2,5; 3,0; 3,5; $\sigma = 0,6$ i 1,0. Na każdym z wykresów przedstawiono pięć krzywych obrazujących wpływ gęstości cząstek fazy stałej $\rho = 2000, 3000, 4000, 5000$ i 6000 kg/m^3 .



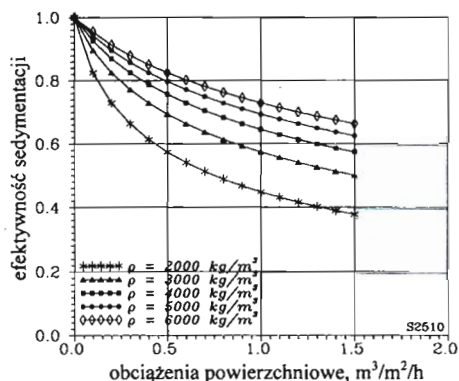
Rys. 1. Zależność efektywności sedymentacji od obciążenia powierzchniowego dla parametrów rozkładu wielkości cząstek fazy stałej $m = 2,0$ i $\sigma = 0,6$



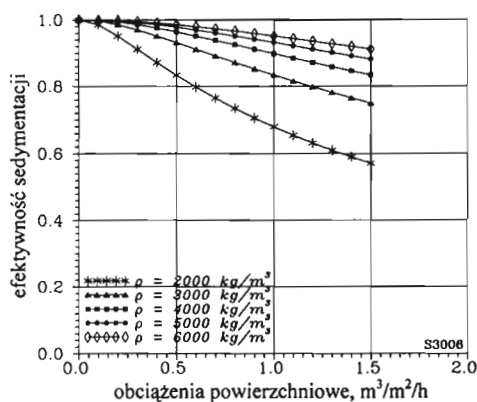
Rys. 2. Zależność efektywności sedymentacji od obciążenia powierzchniowego dla parametrów rozkładu wielkości cząstek fazy stałej $m = 2,0$ i $\sigma = 1,0$



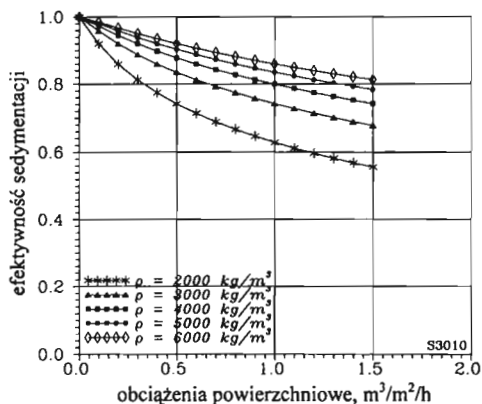
Rys. 3. Zależność efektywności sedymentacji od obciążenia powierzchniowego dla parametrów rozkładu wielkości cząstek fazy stałej $m = 2,5$ i $\sigma = 0,6$



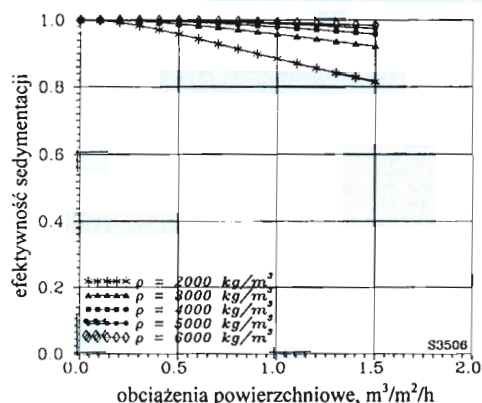
Rys. 4. Zależność efektywności sedymentacji od obciążenia powierzchniowego dla parametrów rozkładu wielkości cząstek fazy stałej $m = 2,5$ i $\sigma = 1,0$



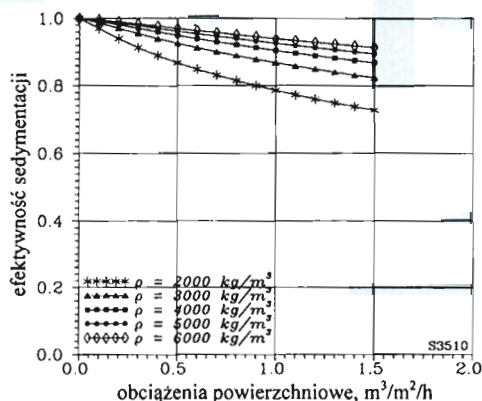
Rys. 5. Zależność efektywności sedymentacji od obciążenia powierzchniowego dla parametrów rozkładu wielkości cząstek fazy stałej $m = 3,0$ i $\sigma = 0,6$



Rys. 6. Zależność efektywności sedymentacji od obciążenia powierzchniowego dla parametrów rozkładu wielkości cząstek fazy stałej $m = 3,0$ i $\sigma = 1,0$



Rys. 7. Zależność efektywności sedymentacji od obciążenia powierzchniowego dla parametrów rozkładu wielkości cząstek fazy stałej $m = 3,5$ i $\sigma = 0,6$



Rys. 8. Zależność efektywności sedymentacji od obciążenia powierzchniowego dla parametrów rozkładu wielkości cząstek fazy stałej $m = 3,5$ i $\sigma = 1,0$

4. Podsumowanie

Szczególnie istotny jest wpływ obciążenia powierzchniowego. Dla zawiesin o najdrobniejszych cząstkach fazy stałej ($m = 2$ $\sigma = 0,6$ – rys. 1) osiągnięcie zwykle oczekiwanej efektywności sedymentacji o wartości powyżej $0,8 \div 0,9$ wymaga nie przekraczania wartości obciążenia powierzchniowego powyżej $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ – w zasadzie niezależnie od gęstości cząstek fazy stałej.

Wpływ gęstości cząstek fazy stałej jest szczególnie istotny, gdy osiągane efektywności sedymentacji są niskie. Przykładowo, jak wynika z wykresu na rysunku 2, przy obciążeniu powierzchniowym wynoszącym około $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, efektywność sedymentacji dla cząstek o gęstości $6000 \text{ kg}/\text{m}^3$ wynosi około $0,6$ a dla cząstek o gęstości $2000 \text{ kg}/\text{m}^3$ wynosi niewiele ponad $0,2$.

Prezentowane wyniki symulacji komputerowych mogą być przydatne do wstępnego określania efektywności sedymentacji.

Literatura

1. **Bandrowski J., Hehlmann J., Merta H., Ziolo J.:** *Opracowanie metody optymalnego doboru wysokosprawnych osadników z wypełnieniem na podstawie doświadczalnych badań osadników.* Inż. i Ap. Chem. 1, 1997, 3–8.
2. **Bandrowski J., Hehlmann J., Merta H., Ziolo J.:** *Podział zawiesin ze względu na możliwość zagęszczania w osadnikach z wypełnieniem oraz analiza czynników wpływających na proces sedymentacji cienkowarstwowej.* Inż. i Ap. Chem. 3, 1997, 3–7.
3. **Bandrowski J., Merta H., Ziolo J.:** *Modele osadników z wypełnieniem.* Mat. XVI Ogólnopol. Konf. Nauk. Inż. Chem. i Proc., t. 1, Wyd. Politechniki Gdańskiej, 1995, 180–185.
4. **Hazen A.:** *On Sedimentation.* Trans. ASCE, 53, 1904, 45–88.
5. **Kowalski W.P.:** *Podstawy teoretyczne projektowania osadników z wkładami wielostrumieniowymi.* Zesz. Nauk. AGH, 1500, s. Mechanika, 27, Kraków, 1992, 132 s.
6. **Kowalski W.P.:** *Generalization of Hazen's Sedimentation Theory.* Archiv. of Hydroengineering, vol. XXXIX, 2, 1992, 85–103.
7. **Kowalski W.P., Banaś M., Mięso R.:** *Charakterystyki granulometryczne zawiesiny ze stalowni konwertorowej.* Mat. II Konf. Nauk.–Techn. nt. „Problemy. Utylizacji Odpadów w Hutnictwie Żelaza i Stali”, Kraków, 2000, 69–76.
8. **Merta H.:** *Projektowanie osadników z wypełnieniem. Część 1. Parametry projektowe i technologiczne osadników płytowych i rurowych oraz ich klasyfikacja.* Inż. i Ap. Chem., 2, 1996, 3–10.
9. **Mięso R.:** *Badania wielostrumieniowego prostopadłoprądowego procesu sedymentacji,* Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2000.
10. **Ziolo J.:** *Influence of the system geometry on the sedimentation effectiveness of lamella settlers.* Chem. Engng. Sci., vol. 51, 1, 1996, 149–153.

COMPUTER SIMULATION OF CLARIFYING PROCESS IN CROSS-CURRENT LAMELLA SETTLING TANK

Abstract: In the paper there are presented the mathematical model of clarifying process in the settling tank with cross-current lamella packets and the results of computer simulations based on the simplification of mathematical model presented.

Sławomir Lawda*, Franciszek Siemieniako*

PROBLEMY ZWIĄZANE Z TŁUMIENIEM PULSACJI CIŚNIENIA W UKŁADACH TECHNICZNYCH

Streszczenie: Publikacja niniejsza jest próbą syntetycznej prezentacji zastosowań pneumatycznych układów tłumiących, a także przedstawienia uwarunkowań towarzyszących projektowaniu urządzeń filtrujących niepożądane składowe okresowych sygnałów pneumatycznych występujących w różnych urządzeniach technicznych.

1. Przedmiot pracy

Filtry pneumatyczne o odpowiednio dobranych charakterystykach mogą być stosowane w pneumatycznych układach zasilania w celu tłumienia tętnień natężenia przepływu generowanych przez pompy i sprężarki, a niekorzystnie wpływających na przebieg właściwego procesu technologicznego. Znaczącym przykładem z dziedziny techniki medycznej jest filtr zastosowany w układzie zasilania pneumatycznego czujnika ciśnienia wewnątrzczaszkowego [3], a którego zadaniem jest wyeliminowanie pulsacji ciśnienia, wywołanego przez sprężarkę membranową.

W dziedzinie przetwarzania sygnałów pneumatycznych filtry stosuje się do demodulacji sygnałów okresowych. W technice strumieniowej konieczne jest użycie filtrów, np. w budowie tzw. demodulatorów sygnałów częstotliwościowych. Praktycznym przykładem zastosowania demodulatora jest opatentowany przez prof. Mirosława Werszko strumieniowy czujnik momentu obrotowego wału [4]. Układ kaskadowy (filtrujący) jest także częścią pneumatycznego przetwornika analogowo-cyfrowego pracującego na zasadzie modulacji szerokości impulsów[3].

* Katedra Mechatroniki, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45c, 15-351 Białystok

* Katedra Techniki Automatykacji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45c, 15-351 Białystok

2. Istota tłumienia okresowych sygnałów pneumatycznych

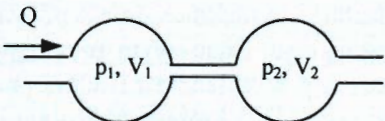
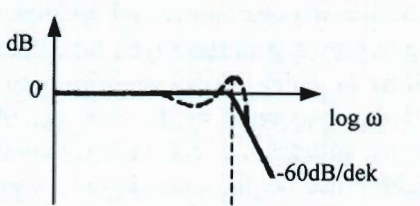
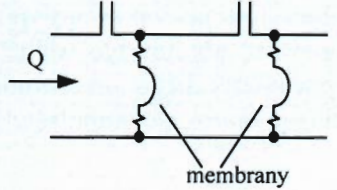
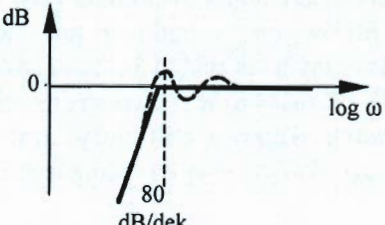
2.1. Parametry sygnału okresowego

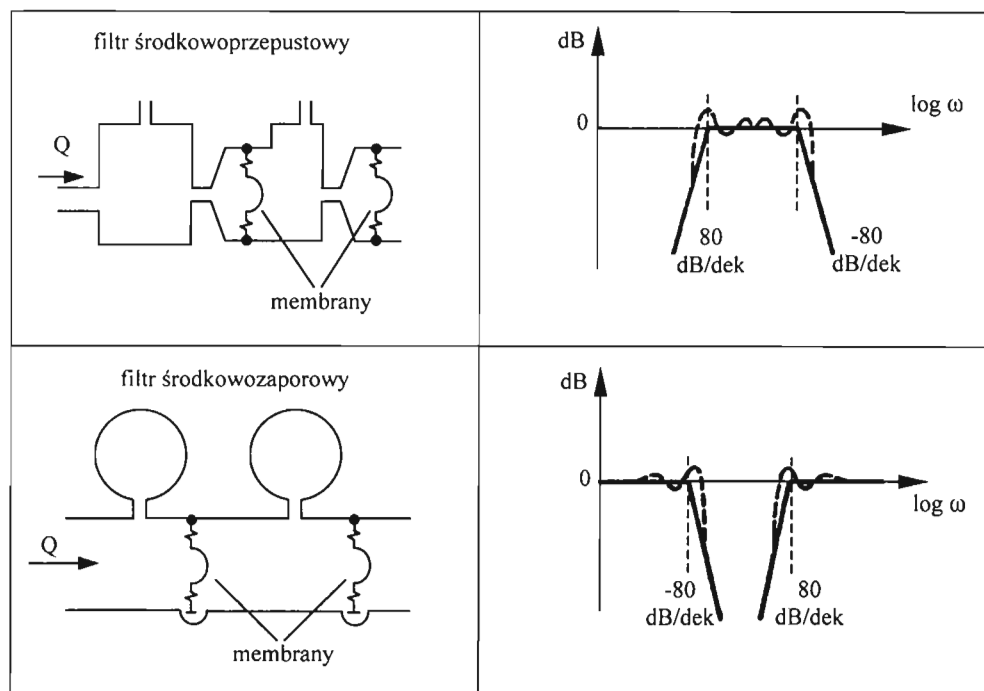
Okresową funkcję ciśnienia $p(t)$ charakteryzują w ogólnym przypadku dwa parametry: amplituda p_0 oraz okres T lub częstotliwość $f = 1/T$. W przypadku sygnałów prostokątnych występujących w pneumatycznych przyrządach pomiarowych, dodatkowym parametrem jest współczynnik wypełnienia $\gamma = \tau/T$ (stosunek czasu trwania impulsu τ do okresu T).

2.2. Charakterystyki amplitudowe rodzajów filtrów

W poniższej tabeli przedstawiono schematy filtrów i przebiegi charakterystyk tłumienia:

Tab. 1 Charakterystyki amplitudowe rodzajów filtrów

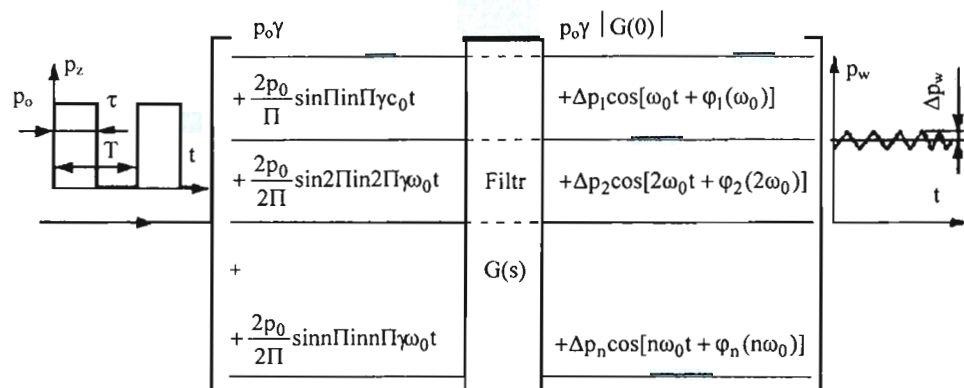
Schemat filtru	Przykładowa charakterystyka tłumienia
filtr dolnoprzepustowy 	
filtr górnoprzepustowy 	



2.3. Parametry sygnału wyjściowego

Zasada filtracji sygnału okresowego prostokątnego została przedstawiona na rys. 1. W istocie procesowi tłumienia podlegają tu poszczególne harmoniczne sygnału wejściowego. Suma tłumionych harmonicznych na wyjściu filtru tworzy amplitudę tętnień.

Zatem wyjście charakteryzuje składowa stała $p_0\gamma$ oraz Δp_w – amplituda tętnień.



Rys. 1. Schemat przebiegu filtracji sygnału prostokątnego

3. Uwarunkowania określające charakter pracy układów tłumiących.

Filtrację niepożądanych składowych pneumatycznych sygnałów okresowych przeprowadza się w praktyce w tzw. układach kaskadowych, czyli układach zbudowanych z oporów i komór (pojemności) pneumatycznych. Opory pneumatyczne mogą być stałe, nastawne lub zmienne, komory zaś mogą być sztywne (o stałej objętości) lub elastyczne (o zmiennej objętości). W ogólnym przypadku układ kaskadowy może składać się z n komór o objętościach $V_1, \dots, V_n$, połączonych przez opory pneumatyczne. Ponadto każda komora może być połączona za źródłem sygnału wejściowego p_0 również poprzez opory. Sygnałem wejściowym układu kaskadowego jest sygnał ciśnieniowy p_0 (w przypadku kaskady sterującej – położenie przysłony względem dyszy x). Sygnałem wyjściowym jest ciśnienie, w ogólnym przypadku, w dowolnej komorze ($p_1, \dots, p_n$). Ponadto w urządzeniach automatyki występują kaskady elastyczne z obciążeniem masowym oraz podparciem ciśnieniowym [3]. Każdy układ kaskadowy można rozważać jako układ składający się z kaskad elementarnych. Kaskadą elementarną nazywa się układ zbudowany z jednej komory wraz z dołączonymi do niej oporami pneumatycznymi.

W podejściu do teorii filtrów pneumatycznych pomocne jest wzorowanie się na filtrach elektrycznych, aczkolwiek nie można mówić tu o całkowitej analogii. Główną przyczyną tego jest złożony charakter zjawisk związanych z przepływem czynnika gazowego. Między innymi chodzi tu o nieliniowość charakterystyk przepływowych oporów pneumatycznych. Filtr pneumatyczny zawierający elementy nieliniowe (np. opory nieliniowe) zniekształca sygnał wejściowy, powodując wy-

stąpienie dodatkowych harmonicznych, które zmieniają sygnał wyjściowy filtru w sposób bardzo trudny do ujęcia [4].

Inna przeszkoda w projektowaniu filtrów pneumatycznych jest zależność parametrów R , L i C od częstotliwości sygnałów oraz niemożność praktycznej realizacji elementów charakteryzujących się wyłącznie opornością, indukcyjnością, czy pojemnością pneumatyczną.

Istotna jest także analiza uwarunkowań gazo- i termodynamicznych, a w szczególności:

- przyjęcie modelu przepływu czynnika gazowego. Przepływ laminarny znajduje zastosowanie w analizie elementów niskociśnieniowych. W badaniu średnio i wysokociśnieniowych układów przetwarzania sygnałów pneumatycznych oraz w układach napędowych rozpatruje się przepływ turbulentny,
- wybór modelu wymiany ciepła między czynnikiem przepływającym przez filtr, a otoczeniem. Przyjęty model może zakładać pełną wymianę ciepła – izotermiczność procesu, bądź brak wymiany ciepła – proces adiabatyczny; ewentualnie stosuje się różne postacie współczynnika przenikania ciepła w procesie politropowym.

4. Koncepcja badań.

1. Opracowanie modeli fizycznych poszczególnych typów filtrów
2. Opracowanie modeli matematycznych pneumatycznych filtrów sygnałów okresowych
3. Analiza własności statycznych i dynamicznych poszczególnych typów filtrów
4. Poszukiwanie optymalnej struktury oraz parametrów geometrycznych
5. Opracowanie algorytmów projektowania filtrów pneumatycznych

Literatura

1. **Campbell D. P.:** Dynamika procesów, PWN Warszawa 1962.
2. **Kondratiewa T. F.** (praca zbiorowa): Konstruirowanije i issledowanije oppozitnych kompressorow, wyd. Maszynostrojenije, Leningrad 1967.
3. **Siemieniako F.:** Pneumatyczne filtry dolnoprzepustowe – analiza i synteza, Politechnika Białostocka, Rozprawy Naukowe nr 30, Białystok 1995.

4. **Werszko M.:** Demodulacja pneumatycznych sygnałów częstotliwościowych za pomocą wzmacniaczy turbulizujących, *Prace Naukowe Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej* – nr 11, Wrocław 1974.
5. **Winogrodzki W.:** rozprawa doktorska nt. Wykorzystanie metod analizy wrażliwościowej do badania i syntezy pneumatycznych układów kaskadowych, *Wydz. Mechaniki Precyzyjnej PW, Warszawa 1987.*

PROBLEMS OF PRESSURE FLUCTUATION DAMPING IN TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Abstract: This paper shows some examples of application of pressure fluctuation damping systems. It also describes significant conditions taken into consideration, when designing signal filtering devices. These devices eliminate the undesirable components of periodic pneumatic signals existing in many technological systems.

Tadeusz Matuszek*

WYBRANE ZAGADNIENIA DIAGNOZOWANIA EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ W PRODUKCJI ŻYWNOŚCI

Streszczenie: Celem tej pracy było opracowanie sposobu postępowania w oszacowaniu zbioru parametrów posiadających decydujący wpływ na funkcje przetwarzania w ustalonych recepturą procesach jednostkowych oraz dostosowanego do ich realizacji, niezawodnego działania urządzenia, a także sprzężenia tego z kontrolą i sterowaniem na poziomie produkcji.

1. Wstęp

W procesie produkcji żywności zwraca się obecnie szczególną uwagę na przestrzeganie higieny, na jakość oraz na wdrożenie sposobów monitorowania i archiwizowania wszelkich zmian w tym obszarze zagadnień. Jakość żywności to przede wszystkim spełnienie czterech podstawowych wymagań: uzyskanie odpowiedniej tekstury produktu, jego cech funkcjonalnych oraz wartości odżywczych, a także ponoszenia odpowiedzialności prawnej za wyprodukowany wyrób [6]. Projektowanie procesów przetwarzania surowców, z różnych zasobów biologicznych na produkty żywnościowe, obejmuje dużo złożonych zagadnień. W każdym przypadku oznacza to wykorzystanie zjawisk fizycznych we właściwym celu oraz umiejętne zapobieganie takim wpływom, które utrudniają lub przeciwstawiają się jego pełnej i skutecznej realizacji.

Diagnozowanie wyposażenia technicznego w liniach technologicznych przemysłu spożywczego, jest rozpoznaniem możliwości realizacji w urządzeniach wyznaczonych dla nich funkcji technologicznych (tj. procesów jednostkowych) i technicznych (tj. operacji jednostkowych), dla ściśle sprecyzowanych celów i sposobów zapobiegania wszelkim zagrożeniom, które mogłyby te cele zakłócić.

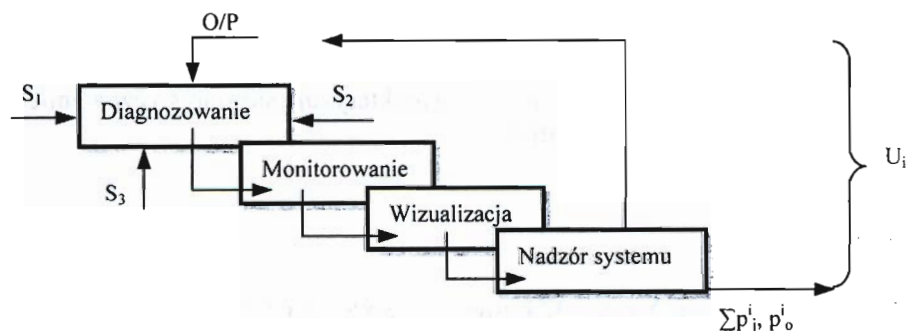
* Politechnika Gdańska, Katedra Maszyn Przemysłu Spożywczego

Wynika to ze szczególnych wymagań i wyjątkowych ocen weryfikujących urządzenia w przetwórstwie żywności, z których do szczególnie ważnych należy wskazanie miejsc pojawienia się zagrożeń jakości dla produktu końcowego [4]. Diagnozowanie i monitorowanie zagrożeń w produkcji żywności stanowi także o możliwościach archiwizowania wszystkich zmian parametrów technicznych i technologicznych w dowolnym miejscu linii technologicznej. W następstwie posiadania takich dokumentów, można z wystarczającą dokładnością określić rzeczywistą przyczynę zmian jakościowych w końcowym produkcie. Można też udowodnić, że zaistniałe zmiany jakościowe pojawiły się poza miejscem wyprodukowania żywności, na drodze różnych sposobów jej dostarczenia do indywidualnego konsumenta. Posiada to obecnie niebagatelne znaczenie, zwłaszcza w warunkach swobodnego przepływu towarów, a także związanych z tym różnorodnych zagrożeń. Uwzględniając wyżej wymienione uwagi należy stwierdzić, że w działalności konstruktora i producenta urządzeń dla przemysłu spożywczego powinno się dążyć do tego, aby w różny sposób najpierw zapobiegać powstawaniu, a następnie ograniczać ilość krytycznych punktów kontrolnych. Wynika to przede wszystkim ze wskazania miejsc ich występowania, rozpoznanych przez technologa żywności na podstawie przeprowadzonej analizy procesu technologicznego, według zaleceń określonych w Dyrektywie Unii Europejskiej 93/43/EEC. Następnie trzeba dokonać wyboru koncepcji, w której należy unikać tak zwanych martwych przestrzeni, określić promienie łuków i kąty pochylenia płaszczyzn, gwarantujące skuteczność zabiegów mycia i dezynfekcji. Bardzo często tego typu wskazówki są uzupełniane informacją na temat przyjętego modelu przewidywanego rozwoju zagrożeń mikrobiologicznych w warunkach przeprowadzenia procesów dla przetwarzanej masy surowca. Najprostszym przykładem jest wyznaczanie krzywej logarytmicznej dla ustalonej ilości bakterii pozostałych w żywności we wnętrzu opakowań metalowych, poddanej procesowi sterylizacji [5].

2. Sposób postępowania

Z otoczenia obiektu (O) i jego usytuowania w przestrzeni (P) dla zorganizowanej, ze względu na rodzaj produktu żywnościowego, linii technologicznej, należy dla różnorodnych zadań procesowych, utworzyć macierz parametrów, które trzeba diagnozować. Dotyczy to zbioru (S_1) parametrów procesu według kryteriów technicznych (t_1); zbioru wskaźników (S_2) dla zmian jakościowych według kryteriów technologicznych (t_2); zbioru zmian parametrów przetwarzania (S_3) ze względu na kryteria t_1 i t_2 . Powinny one uwzględniać warunki konieczne dla technologii

przetwórstwa, warunki eksploatacji (statyczne i dynamiczne) oraz ekologiczne i bezpieczeństwa. Dla urządzenia oznacza to spełnienie wskaźników jakości produktu przy minimalnych stratach materiałowych i energetycznych; błyskawiczne ostrzeganie przed zagrożeniem; krótki czas reagowania w układzie kontrolnym i sterowania; długotrwałość eksploatacji. Wynikowe parametry z tych zbiorów stanowią o wartościach sygnałów sterujących, które przez ich monitorowanie i wizualizację, decydują o poziomie nadzoru (sterownik) systemu przetwarzania.



Rys. 1. Schemat diagnozowania i-tego urządzenia (U_i); S_1 , S_2 , S_3 – zbiory parametrów wejściowych; O/P – obiekt/przestrzeń; p_j^i , p_o^i – parametry wyjściowe do realizacji i-tych procesów oraz i-tych operacji jednostkowych

3. Wyniki

Diagnozowanie urządzeń w linii technologicznej opracowano na przykładzie wydzielania, przemieszczania, ważenia, dozowania i mieszania wielu składników masy czekoladowej, w Zakładach „FAZER” Polska, a także monitorowania pracy wirówki 5004D i jej strumienia zanieczyszczeń. Przebieg tych procesów i operacji jednostkowych wraz z działaniami kontrolnymi, przedstawiono na obrazach synoptycznych, na których rozmieszczono poszczególne urządzenia z punktami sterowania oraz tablicą alarmów. W tym celu wykorzystano oprogramowanie „InTouch”, „FIX-Intellution” i „LabView 6.1, [1], [2], [7].

4. Wnioski

- Diagnostowanie zagrożeń w produkcji żywności (przedstawiono przykłady: dozowania i mieszania składników masy czekoladowej w Zakładach „FAZER” Polska oraz monitorowania pracy wirówki 5004D i kontroli strumienia zanieczyszczeń) stanowi o możliwościach archiwizowania zmian parametrów technologicznych i technicznych w dowolnym miejscu linii technologicznej (wykorzystano oprogramowanie [1], [2], [7]).
- Diagnostowanie zadań procesowych i eksploatacyjnych urządzeń jest zagadnieniem bardzo trudnym, ponieważ surowiec do produkcji żywności oraz urządzenia, które w tym uczestniczą, charakteryzują się statystyczną zmiennością diagnostowanych parametrów.

Literatura

1. **Faszczyński, A.:** FIX 6.0 – 32 bitowy system SCARA, PAK 6, 1999.
2. InTouch 7.0 EN, Podręcznik użytkownika, wersja A. Wyd. Wonderware Corporation, 1997.
3. **Ruffer H.:** Oczyszczanie ścieków przemysłowych, Wyd. 'ProjPrzem', Bydgoszcz, 1998.
4. **Matuszek, T.:** Diagnostowanie i monitorowanie zagrożeń jakości w systemach i urządzeniach do produkcji żywności, Seminarium, „Polagra”, Poznań, 2001.
5. **Matuszek, T.:** Wybrane zagadnienia higieny i diagnostowania w produkcji żywności, Mat. Konferencji N-T, Marszewo, Biuletyn, 1(14), 2001.
6. **Matuszek T.:** Linia technologiczna przetwórstwa i jej standardy sanitarne, Magazyn Przemysłu Rybnego, Grudzień, 1997.
7. Program LabView 6.1., 2001.
8. **Van Ekelburg H.P.:** New Food, Spring, 2000.

Mikołaj Moczarski*

PODATNOŚĆ OBSŁUGOWA POJAZDÓW – PROGRAMOWANIE I OCENA

Streszczenie: W artykule omówiono czynniki wpływające na podatność obsługową, związki podatności z właściwościami pojazdów oraz sposób programowania i ocenia-
nia podatności. Przedstawiono algorytm postępowania przy dokonywaniu oceny po-
datności obsługowej.

1. Programowanie podatności obsługowej

W teorii eksploatacji operuje się pojęciem obsługiwanie. W skład obsługiwa-
nia wchodzi [1] działania zmniejszające prędkość utraty właściwości użytkowych
– obsługiwanie zapobiegawcze oraz działania przywracające właściwości już utra-
cone – obsługiwanie naprawcze. W literaturze [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10] można spo-
tkać różne definicje podatności obsługowej. Przyjmujemy wg [9], że podatność
obsługowa – inaczej technologiczność obsługiwanie – jest to właściwość obiektu
określona zespołem cech rozwiązania konstrukcyjnego i technologicznego, cha-
rakteryzująca jego przystosowanie do wykonywania przeglądów i napraw, t.j. wy-
krywania i usuwania niesprawności, oraz zapobiegania im w najkrótszym czasie
i w sposób najbardziej ekonomiczny, w określonych warunkach użytkowania
i obsługiwanie.

Szeroko rozumianym celem programowania podatności obsługowej jest mak-
symalizowanie współczynnika gotowości pojazdu i minimalizowanie kosztów
eksploatacji. Wpływają na to krótkie czasy i niskie koszty obsługiwanie, a więc
wysoka podatność obsługowa.

Według [2] podatność obsługowa jest funkcją właściwości obiektu i warun-
ków obsługiwanie. Należy wyróżnić dwa etapy programowania podatności obsłu-
gowej: pierwszy – podczas projektowania pojazdu i badania jego prototypu, drugi
– podczas projektowania technologii i organizacji obsługiwanie pojazdu. Brak lub

* Instytut Pojazdów, Politechnika Warszawska, Narbutta 84, 02-524 Warszawa

ograniczone działania z zakresu etapu drugiego mogą spowodować nie wykorzystanie w praktyce potencjalnej podatności obsługowej zaprogramowanej w etapie pierwszym lub niewłaściwe jej zaprogramowanie w tym etapie.

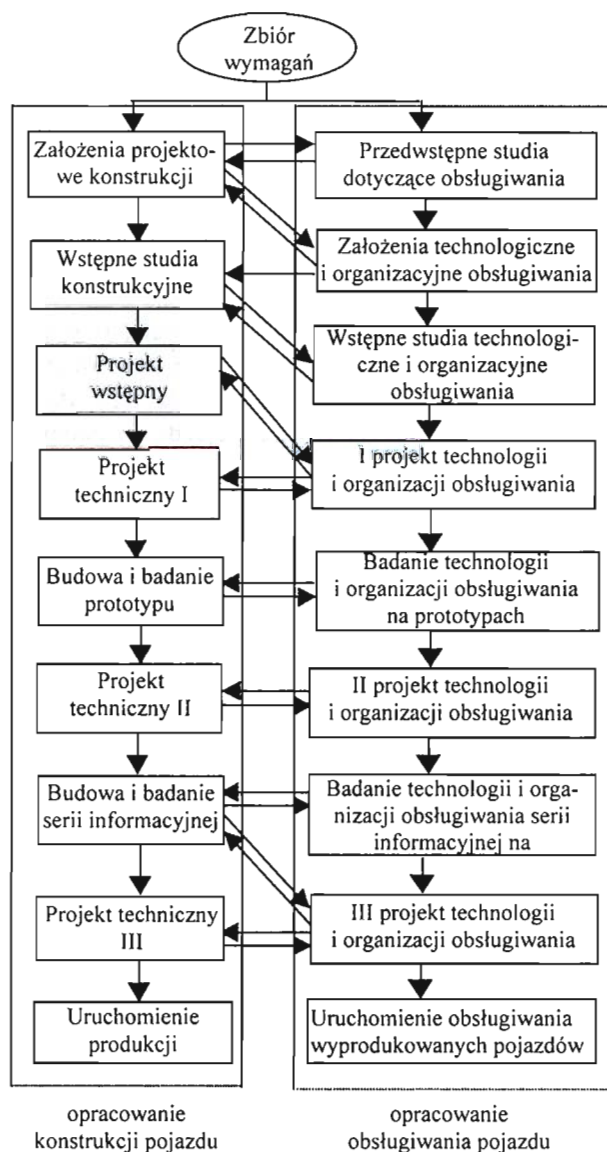
W obsługiwaniu pojazdów występują zwykle następujące rodzaje działań obsługowych: zaopatrywanie, oczyszczanie, diagnozowanie, kontrola stanu elementów składowych i lokalizacja niesprawności, demontaż i montaż, wymiana elementów, regeneracja elementów, pomiary i regulacja po montażu, kontrola po obsługiwaniu. Wymienione działania określają zakres programowania podatności obsługowej. Aby prawidłowo zaprogramować podatność obsługową należy:

- przewidzieć przebiegi procesów starzenia, powstawania uszkodzeń i niedomagań składników pojazdu;
- określić sposoby obsługiwanie;
- sformułować wymagania dotyczące konstrukcji i technologii budowy pojazdu **z punktu widzenia możliwości, łatwości i jakości** obsługiwanie;
- dokonać analizy przewidywanych kosztów obsługiwanie oraz kosztów projektowania, wytwarzania i eksploatacji pojazdu wykazującego założony poziom podatności obsługowej;
- przeprowadzić próby obsługiwanie prototypu i pojazdów produkowanych seryjnie;
- dokonać oceny uzyskanego poziomu podatności obsługowej i określić możliwość jego podwyższenia.

Podane działania charakteryzują pośrednio zakres prac występujących przy programowaniu podatności obsługowej. Programowanie podatności obsługowej odbywa się głównie przed uruchomieniem produkcji seryjnej. Fazy programowania są etapami coraz bardziej precyzyjnego opracowywania rozwiązań, następującego w miarę rozwijania się prac konstrukcyjnych i technologicznych nad budową nowego pojazdu.

Na rysunku 1 pokazano model procesu przygotowania obsługiwanie.

Programowanie podatności obsługowej powinno być prowadzone równolegle z opracowaniem konstrukcji pojazdu i z opracowaniem technicznego przygotowania produkcji.



Rys. 1. Model procesu przygotowania obsługi pojazdu

2. Czynniki wpływające na podatność obsługową

Aby określić czynniki wpływające na podatność obsługową należy umieć odpowiedzieć sobie na następujące pytania:

- jakie właściwości pojazdu i jakie czynniki związane z tymi właściwościami wpływają na jego obsługiwanie?
- w jaki sposób wpływają i w czym się to przejawia?
- w jakim stopniu i na co wpływają?
- dlaczego wpływają w rozpatrywanym rozwiązaniu?

Właściwości pojazdów, zwłaszcza stereometryczne, fizykochemiczne i techniczne, są kształtowane podczas projektowych prac konstrukcyjnych i technologicznych. Ich znajomość ułatwia udzielenie odpowiedzi na podane wyżej pytania.

W tablicy 1 pokazano związki właściwości pojazdów z podatnością obsługową.

Tab. 1

Lp.	Charakterystyka „wrodzonych” właściwości pojazdu	Wpływ „wrodzonych” właściwości pojazdu na działalność obsługową poprzez:	Ważniejsze wskaźniki, na które wpływają „wrodzone” właściwości pojazdu
1	2	3	4
1.	Stopień asymilacji, tj. racjonalnego wykorzystania już wcześniej opracowanych i sprawdzonych materiałów i rozwiązań konstrukcyjnych [2].	Zmniejszenie ryzyka popełnienia błędów w zakresie podatności obsługowej podczas projektowania.	- Koszty obsługiwania - Pracochłonność obsługiwania - Czas trwania obsługiwania
		Możliwość korzystania z istniejących technologii, organizacji i wyposażenia technicznego w obsługiwaniu.	- Koszty przygotowania obsługi
		Ułatwienie działalności logistycznej w obsługiwaniu m in. przez stosowanie elementów znormalizowanych, zunifikowanych i typowych.	- Koszty obsługiwania
2.	Stopień symplifikacji tj. uproszczenia struktury pojazdu [2].	Zmniejszenie liczby składników pojazdu i liczby złożonych relacji między składnikami pojazdu i między ich właściwościami, a przez to ułatwienie demontażu, montażu, regulacji, pomiarów, badań diagnostycznych i oceny stanu technicznego.	- Koszty obsługiwania - Pracochłonność obsługiwania - Czas trwania obsługiwania - Koszty przygotowania techniczno-organizacyjnego obsługiwania
		Uproszczenie konstrukcji wyposażenia technicznego stosowanego w obsługiwaniu.	- Koszty przygotowania obsługi
		W przypadku dużej liczby jednokowych składników – konsekwencje jak wyżej.	- Jak wyżej

Tab. 1 c.d.

1	2	3	4
3.	Stopień adekwatyzacji tj. ograniczenia do niezbędnego minimum wymogów dokładności [2].	Ograniczenie liczby złożonych, a więc czasochłonnych i kosztownych operacji technologicznych regenerowania, uproszczenie regulacji, pomiarów, montażu. Uproszczenie konstrukcji wyposażenia technicznego stosowanego w obsłudze. Możliwość zatrudnienia pracowników o niższych kwalifikacjach.	- Koszty obsługi - Przechowywanie obsługi - Czas trwania obsługi - Koszty przygotowania obsługi - Koszty obsługi
4.	Rodzaje materiałów zastosowanych do budowy pojazdu.	Częstość wykonywania zabiegów obsługowych. Technologię regeneracji elementów pojazdu oraz możliwość regeneracji w ogóle. Warunki usuwania zanieczyszczeń z powierzchni elementów podczas obsługi, będące konsekwencją przyczepności zanieczyszczeń do powierzchni materiałów.	- Koszty obsługi - Czas trwania obsługi (skumulowany) - Koszty obsługi - Jakość obsługi - Koszty obsługi - Czas trwania obsługi - Jakość obsługi
5.	Zróżnicowanie materiałów zastosowanych do budowy pojazdu i jego zespołów i podzespołów.	Technologię regeneracji, a w tym stosowane wyposażenie techniczne. Technologię czyszczenia zespołów i podzespołów wykonanych z różnorodnych materiałów Technologię zabezpieczenia przed korozją stykających się elementów, wykonanych z różnych materiałów. Utrudnienie działalności logistycznej w obsłudze w przypadku dużej różnorodności materiałów.	- Koszty techniczno-organizacyjnego przygotowania regeneracji (obsługi) - Koszty regeneracji (obsługi) - Koszty techniczno-organizacyjnego przygotowania czyszczenia - Koszty czyszczenia - Koszty obsługi - Koszty obsługi
6.	Stopień normalizacji, unifikacji i typizacji półfabrykatów stosowanych do wykonania elementów pojazdu.	Możliwość zaopatrywania się w masowo produkowane półfabrykaty zamiast wykonywania ich we własnym zakresie. Wielkość asortymentu zapasów materiałów i półfabrykatów w magazynach.	- Koszty obsługi - Uproszczenie procesów logistycznych - Jak wyżej

Tab. 1 c.d.

1	2	3	4
7.	Technologia wytwarzania elementów pojazdów (np. odlewy, odkuwki, wypraski, konstrukcje spawane, klejone)	Konieczność kupowania półfabrykatów o złożonej technologii wytwarzania u ich producentów; nieopłacalność ich wytwarzania we własnym zakresie w małych seriach. Technologię napraw zużytych, bądź uszkodzonych elementów pojazdu.	- Koszty obsługiwanian - Organizacja procesów logistycznych - Koszty obsługiwanian
8.	Kształt i położenie składników w obrębie pojazdu.	Dostęp wzroku, rąk, narzędzi, przyrządów i urządzeń do miejsc obsługiwanych. Łatwość dobrego zabezpieczenia przed korozją. Łatwość i skuteczność oczyszczania Łatwość badań diagnostycznych, pomiarów, kontroli i regulacji. Warunki pracy pracowników podczas obsługiwanian.	- Koszty obsługiwanian - Pracochłonność obsługiwanian - Czas trwania obsługiwanian - Jak wyżej - Jak wyżej - Jak wyżej - Wydajność pracy - Jakość obsługiwanian
9.	Stopień niezależności i spójności konstrukcyjnej składników (zespołów i podzespołów) pojazdu.	W przypadku wysokiego stopnia spójności silne uzależnienie prac demontażowo-montażowych, pomiarowych, regulacyjnych, a także tempa zużywania się, między poszczególnymi zespołami i podzespołami. W przypadku wysokiego stopnia niezależności (konstrukcja modułowa) – sytuacja przeciwna.	- Koszty obsługiwanian - Pracochłonność obsługiwanian - Czas trwania obsługiwanian - Jak wyżej
10.	Przystosowanie pojazdu do uzyskiwania informacji o jego stanie.	Łatwość lokalizacji niesprawności oraz wykrywania błędów popełnionych podczas obsługiwanian. Łatwość przeprowadzania kontroli stanu źródeł energii i ilości płynów eksploatacyjnych w pojeździe. Łatwość przeprowadzania badań diagnostycznych, pomiarów, prób zespołów i podzespołów oraz pojazdu jako całości w celu określenia ich stanu technicznego po obsługiwanianiu	- Jak wyżej - Jak wyżej - Jak wyżej

Tab. 1 c.d.

1	2	3	4
11.	Dostosowanie do specyficznych wymagań procesu obsługi (i wytwarzania)	Występowanie baz pomiarowych i obróbkowych, niezbędnych dla przeprowadzenia obsługi (pomiarów określających stan techniczny, obróbka regenerowanych powierzchni itp.). Zamiennosc części, podzespołów i zespołów. Uzupełnianie lub wymiana olejów, smarów, płynów eksploatacyjnych w sposób częściowo lub całkowicie zautomatyzowany.	- Jak wyżej - Jakość obsługi - jak wyżej - jak wyżej
12.	Właściwości pojazdu użytkowane w wyniku stosowania mało rozpowszechnionych w danym czasie procesów technologicznych wytwarzania i materiałów.	Technologię napraw zużytych bądź uszkodzonych elementów pojazdu. Utrudnienie bądź uniemożliwienie regeneracji. Konieczność kupowania elementów u wytwórców, często monopolistów.	- Koszty obsługi - Jak wyżej - Jak wyżej
13.	Sposób łączenia i rozłączania składników pojazdu.	Dostęp do elementów mocujących i łączących, możliwość ich szybkiego i nieniszczącego odkręcania i usuwania oraz możliwość zmechanizowania tych prac; nie występowanie połączeń trwałych w naprawialnych elementach pojazdu. Mała podatność na obluźowywanie się elementów mocujących i łączących podczas użytkowania pojazdu.	- Koszty obsługi - Prędkość obsługi - Czas trwania obsługi - Możliwość ponownego użycia elementów łączących. - Większa wydajność pracy - Koszty eksploatacji - Zmniejszenie prawdopodobieństwa uszkodzenia pojazdu lub jego elementów składowych

Tab. 1 c.d.

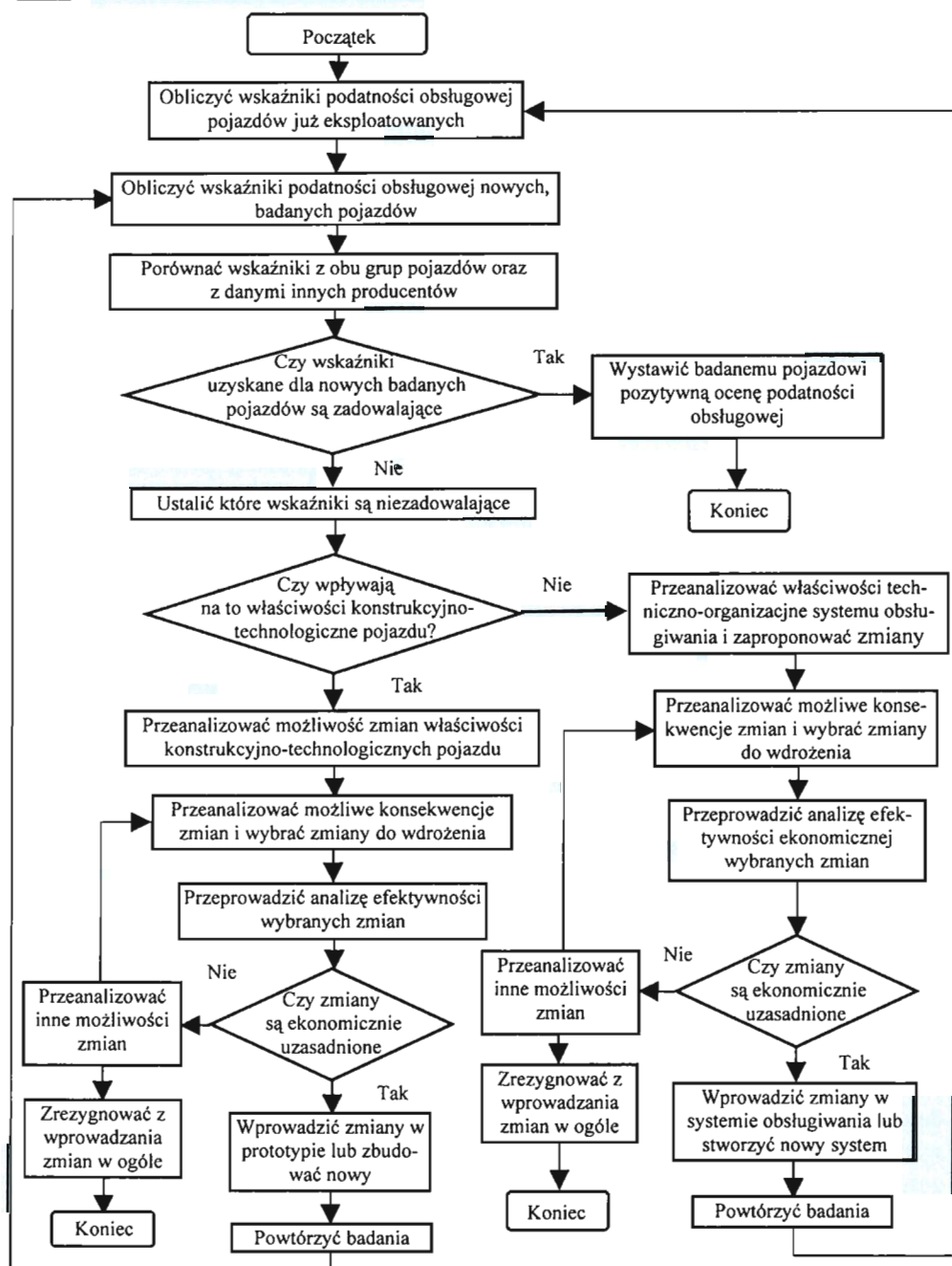
1	2	3	4
14.	Zabezpieczenie pojazdu przed szkodliwym oddziaływaniem otoczenia zewnętrznego (czynniki zewnętrzne) i wewnętrznego (czynniki robocze).	Częstość i zakres obsługiwanego, które są tym mniejsze im bardziej pojazd jest odporny na oddziaływanie otoczenia. Zużycie materiałów i części zamiennych w naprawach, tym mniejsze im bardziej pojazd jest odporny na oddziaływanie otoczenia. Zdolność produkcyjna zakładu obsługowego malejąca ze wzrostem odporności pojazdów na oddziaływanie otoczenia. Liczbę napraw awaryjnych, malejącą ze wzrostem odporności pojazdów na oddziaływanie otoczenia. Rozległość i zakres awarii w obrębie jednego pojazdu i oddziaływanie awarii pojazdu na jego otoczenie, a w tym na ludzi.	- Koszty skumulowane obsługiwanego - Skumulowany czas trwania obsługiwanego - Koszty obsługiwanego - Koszty obsługiwanego na skutek mniejszego zatrudnienia i mniejszych odpisów amortyzacyjnych od maszyn, urządzeń, budynków i instalacji - Koszty skumulowane obsługiwanego - Skumulowany czas trwania obsługiwanego - Koszty obsługiwanego - Koszty odpowiedzialności cywilnej właściciela pojazdu
15.	Możliwość „manipulowania” pojazdem i jego elementami składowymi w procesie obsługiwanego (i wytwarzania), np. podnoszenie, opuszczanie, obracanie, mocowanie, ustalanie położenia.	Warunki pracy rzemieślników podczas obsługiwanego oraz warunki wykonywania operacji technologicznych (np. pomiary, regulacje, spawanie w pozycji podolnej) Dostęp do naprawianych miejsc, zwłaszcza ciasno „zabudowanych”, podczas wykonywania operacji obsługowych.	- Wydajność pracy - Jakość obsługiwanego - Wielkość zatrudnienia
	Możliwość stosowania podczas obsługiwanego i (wytwarzania) manipulatorów i urządzeń mechanizujących pracę.	Możliwość przemieszczania elementów pojazdu i całości pojazdu ze stanowiska na stanowisko w sposób zmechanizowany i nie na „własnych kołach”. Możliwość wprowadzania urządzeń mechanizujących pracę, do wnętrza pojazdu.	- Wydajność pracy - Czas trwania obsługiwanego - Jak wyżej

3. Ocenianie podatności obsługowej

Nie istnieją bezwzględne miary oceny podatności obsługowej. Podatność obsługową można ocenić przez porównanie z innymi rozwiązaniami, porównywalnymi pod względem przeznaczenia, parametrów funkcjonowania i stopnia złożoności. Celowe jest ocenianie podatności obsługowej w trzech etapach. Etap pierwszy powinien mieć miejsce częściowo w trakcie, głównie po zakończeniu opracowywania dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej pojazdu, ale przed rozpoczęciem budowy jego prototypu. Drugi etap – to praktyczne badanie podatności obsługowej na zbudowanym prototypie. Badany pojazd odbywa jazdy próbne obserwowane i po przejechaniu określonej liczby kilometrów jest poddawany obsłudze w ustalonych wcześniej warunkach technicznych i organizacyjnych. Podczas obsługi jest sprawdzana podatność obsługowa i weryfikowane praktycznie założenia poczynione w tym zakresie podczas projektowania. Na tej podstawie jest poprawiana dokumentacja konstrukcyjna i technologiczna pojazdu. Etap trzeci obejmuje badanie podatności obsługowej pojazdów produkowanych seryjnie. Ocenianie podatności w tym etapie przeprowadza się na pojazdach, które pracowały dłuższy okres czasu. Długotrwała praca wywołuje większe, niż w przypadku prototypu, zużycia i uszkodzenia, zakres naprawy jest dużo większy, a przez to sprawdzenie podatności obsługowej pełniejsze i bardziej wiarygodne. Wykryte w tym etapie błędy usuwa się wprowadzając zmiany podczas produkcji seryjnej bądź wykorzystuje uzyskane informacje przy projektowaniu nowych pojazdów.

Dla oceny podatności obsługowej jest niezbędne stworzenie reguł postępowania (wzorców), będących podstawą przeprowadzania oceny.

Dostosowanie pojazdu do obsługi przejawia się występowaniem cech omówionych w tablicy 1. Podatność obsługową mierzy się za pomocą wskaźników. Zwykle przyjmuje się następujące podstawowe wskaźniki: prędkość obsługi, czas trwania obsługi, koszt obsługi, funkcję podatności obsługowej $M(\tau)$, prawdopodobieństwo przywrócenia pojazdowi stanu sprawności w zadnym czasie – $F(\tau)$. Poza wymienionymi wskaźnikami są stosowane wskaźniki dodatkowe [2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 13, 14]: wskaźnik obsługi, łatwości usuwania niesprawności, przystosowania pojazdu do obsługi, przygotowania pojazdu do obsługi, oczyściwania pojazdu, dostępności do miejsc diagnozowania, podatności diagnostycznej, unifikacji połączeń urządzeń diagnostycznych, przygotowania pojazdu do diagnozowania, czasu trwania obsługi ze względu na i-ty zespół pojazdu, wyposażenia technicznego w obsłudze, wartości wyposażenia technicznego przypadającego na jednego pracownika wykonującego obsługę, relacji kosztów obsługi do kosztów zakupu pojazdu, wygody pozycji przy obsłudze. Można tworzyć też i inne rodzaje miar oceny podatności obsługowej.



Rys. 2. Algorytm postępowania przy dokonywaniu oceny podatności obsługowej

Literatura

1. **Polska Norma PN-82/N-04001.** Eksploatacja obiektów technicznych. Terminologia ogólna.
2. **Kiliński A.:** Przemysłowe procesy realizacji. Podstawy teorii. PWN, Warszawa 1976.
3. **Hebda M., Mazur T., Pelc H.:** Teoria eksploatacji pojazdów. WKiŁ, Warszawa 1978.
4. **Hebda M., Janicki D.:** Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji. WKiŁ, Warszawa 1977.
5. **Praca zbiorowa pod red. Migdalskiego J.:** Poradnik niezawodności. Podstawy matematyczne. Wydawn.Przemysłu Maszynowego WEMA, Warszawa 1982.
6. **Cypko J., Cypko E.:** Podstawy technologii i organizacji napraw pojazdów mechanicznych, WkiŁ, Warszawa 1982.
7. **Polska Norma PN-80/N-04000** Niezawodność w technice. Terminologia.
8. **Polska Norma PN-77/N-04005** Niezawodność w technice. Wskaźniki niezawodności.
9. **Moczarski M.:** Technologia wytwarzania i napraw pojazdów szynowych. WPW, Warszawa 1993.
10. **Praktyczny poradnik konserwacji maszyn i urządzeń.** WEKA sp. zoo, Warszawa 1997-2000.
11. **Moczarski M.:** Podstawy organizacji i techniki obsługiwaniania pojazdów szynowych. WPW, Warszawa 1986.
12. **Leksykon PWN,** Warszawa 1972.
13. **Praca zbiorowa pod red. Stępnia S.:** Poradnik konstruktora sprzętu elektronicznego. WkiŁ, Warszawa 1981.
14. **Żółtowski B., Ćwik Z.:** Leksykon diagnostyki technicznej. Wyd. Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1996.
15. **Moczarski M.:** Ocenianie podatności obsługowej pojazdów mechanicznych. Zeszyty Instytutu Pojazdów, Politechnika Warszawska SiMR, 2002 (w druku).

THE SUSCEPTIBILITY OF SERVICE OF VEHICLES PROGRAMMING AND ESTIMATING

Abstract: The article presents the factors which influence for susceptibility of service, associations between the susceptibility and properties of vehicles as well as the way of programming and estimating the susceptibility. The algorithm how estimate the susceptibility of service is also presented.

Arkadiusz Mystkowski*

KONFIGURACJA SIECI PROFIBUS NA STANOWISKU DYDAKTYCZNYM

Streszczenie: W pracy przedstawiono sposób współpracy większej liczby sterowników PLC realizowanej poprzez sieć Profibus. Omówiono architekturę protokołu Profibus z uszczególnieniem wszystkich warstw. Pokazano istotę sterowania w czasie rzeczywistym, na przykładzie stanowiska dydaktycznego, oraz zamieszczono tematy przykładowych ćwiczeń jakie możliwe są do zrealizowania.

1. Wprowadzenie

1.1. Rys historyczny

Magistrala PROFIBUS powstała w roku 1987 w ramach projektu „Feldbus” finansowanego przez Związkowe Ministerstwo Kształcenia i Badań Naukowych Republiki Federalnej Niemiec. Standard PROFIBUS został opracowany na zlecenie Ministerstwa Badań i Technologii Niemiec na potrzeby automatyki przemysłowej. Prace nad standardem prowadzone przez 13 firm i 5 instytutów zostały uwieńczzone w połowie 1991 r. opublikowaniem dwuczęściowej normy oznaczonej symbolem DIN 19245. Struktura sieci oparta jest na idei stacja główna, zarządzająca (Master), która zarządza siecią oraz dołączone do niej stacje podrzędne (Slave). PROFIBUS jest aktualnie najpowszechniejszym systemem magistrali obiektowych. Magistrala Profibus lub jej dalsze opracowania rozwojowe (PROFIBUS-DP, PROFIBUS-PA lub PROFIBUS-FMS) stosowane są dziś głównie w wysocze złożonych, wielowarstwowych systemach automatyzacji procesów w technice przetwórczej, energetycznej i napędowej. Organizacja skupiająca użytkowników sieci Profibus PNO przyjęła już około 1000 nowych członków w prawie 20 krajach na całym świecie. W różnych gałęziach przemysłu wprowadzono przeszło 3 miliony urządzeń pracujących w sieci Profibus, w ponad 300 tysiącach aplikacjach. Ponad

* Katedra Techniki Automatykacji, Wydział Mechaniczny Politechniki Białostockiej (student stażysta)

1000 firm stosuje PROFIBUS, ponad 2000 różnych wyrobów jest dostępnych z interfejsem oraz ok. 3.500.000 urządzeń PROFIBUS jest obecnie eksploatowanych.

1. 2. Zadania jakie realizuje sieć PROFIBUS na stanowisku dydaktycznym

Do ważniejszych zadań jakie realizuje sieć Profibus można zaliczyć:

- przesyłanie małej, i dużej ilości danych procesowych w czasie rzeczywistym,
- decentralizacja, rozproszenie wejść, wyjść, sygnałów analogowych, umieszczenie kart blisko obiektu,
- możliwość pełnej lokalnej, czy zdalnej (w pełnym tego słowa znaczeniu) diagnostyki, programowania i uruchamiania sieci,
- wydajna praca, a co najważniejsze pewność i szybkość działania,
- możliwość bezpośredniego kontaktu z obiektem,
- możliwość diagnostyki i kontroli obiektu,
- możliwość pracy poprzez sieć telefoniczną i zwykłe modemy praktycznie z dowolnego miejsca na świecie,
- możliwość dostępu pośredniego do drugiej równoległej sieci (routing),

1.3. Główne parametry pracy sieci PROFIBUS w systemach sterowania

Z punktu widzenia użytkownika istotnymi parametrami pracy sieci Profibus są:

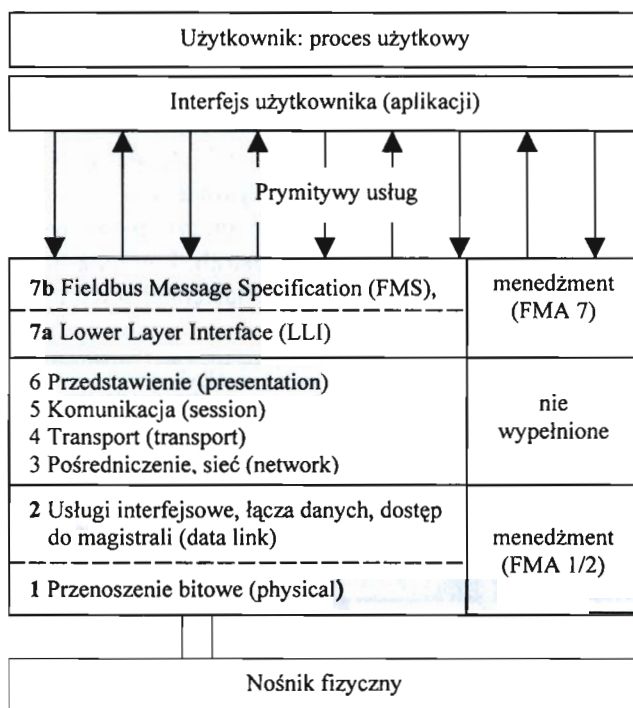
- transmisja zgodna ze standardem RS-485 (jeden segment – 32 stacje), skrętka, opcjonalnie światłowód,
- maksymalna długość linii 1200 m, ze wzmacniaczami 4800 m,
- szybkość transmisji zależna od długości linii w zakresie od 9,6 do 500 kbit/s,
- maksymalna liczba stacji 127,
- prędkość maksymalna działania sieci 12 MBit/s,
- transmisja asynchroniczna, półdupleks, - hybrydowy dostęp do magistrali,
- trzy acykliczne i jedna cykliczna usługi transmisji danych,
- format ramek zgodny z normą ICE-870-5-1,
- dane zintegrowane z odległością Haminga ($HD = 4$).

2. Interface PROFIBUS

Interfejs PROFIBUS realizowany jest obecnie dwoma sposobami:

- elektrycznie – para przewodów ekranowanych, o przekroju nie mniejszym niż $0,22 \text{ mm}^2$, impedancji falowej $100...130 \Omega$ i pojemności między przewodami nie przekraczającej 60 pF/m .
- optycznie- za pomocą światłowodu

Architektura protokołu PROFIBUS przedstawiona na rys. 1 została oparta na 7-segmentowym tunelu OSI [PN-EN50170].



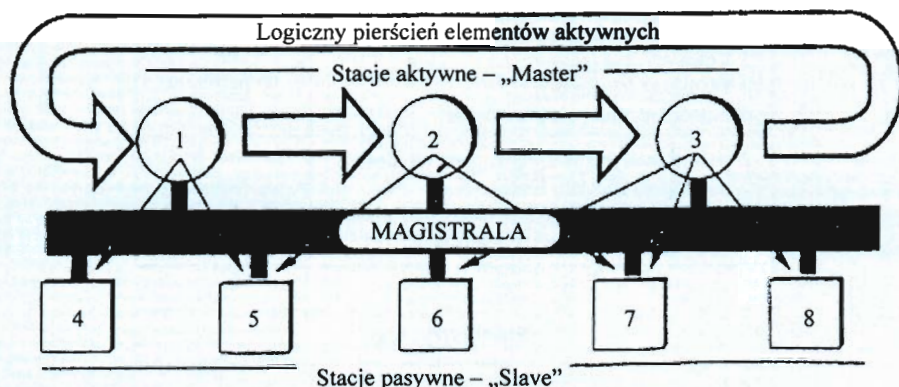
Rys. 1. Architektura protokołu Profibus

W protokole PROFIBUS-a wypełnione są tylko warstwy 1, 2 i 7 modelu referencyjnego OSI. Warstwa 1 realizowana jest w sprzęcie, warstwa 2 oraz podzielona na dwie warstwy 7 w oprogramowaniu. Funkcje poszczególnych warstw sterowane są przez warstwę zarządzającą o układzie równoległym. Warstwy 1 i 2 (część I normy) określają medium transmisyjne, właściwości elektryczne interfejsu, protokół dostępu do medium oraz usługi warstwy łączenia danych – FDL {ang. Field Data Link}. Kolejne warstwy od 3 do 6 nie są jawnie określone w normie. Ich funkcje zostały zawarte w podwarstwie sprzęgającej je z niższymi warstwami interfejsu – LLI (ang. Lower Layer Interface), będącej częścią warstwy 7. Warstwa aplikacji umożliwia także wykonywanie usług realizowanych przez funkcje komunikacyjne – FMS (ang. Fieldbus Message Specification). Ponadto standard PROFIBUS dostarcza użytkownikowi funkcji zarządzania siecią – FMA {ang. Fieldbus Management Application}.

W standardzie PROFIBUS stosuje się dwie metody kontroli dostępu do magistrali:

1. Metoda dostępu zdecentralizowanego, zgodną z zasadą "token-passing", stosowaną do komunikacji między złożonymi stacjami typu "master";
2. Metoda dostępu scentralizowanego, zgodną z zasadą "master-slave", dla komunikacji stacji typu master z prostymi stacjami typu "slave".

Kontrola dostępu do magistrali przypisana jest stacji aktywnej (tzw. "master" – kontroler magistrali). Obok stacji typu "master" standard określa stacje typu "slave" (stacje pasywne, np. czujnik, element wykonawczy), nie mogące inicjować cyklu dostępu do magistrali. Element "master" otrzymawszy na ściśle określony czas "token" może sterować dostępem do magistrali, komunikując się z elementami pasywnymi, po czym przekazuje sterowanie następnej stacji typu master.



Rys. 2. Obieg „tokena” w aktywnych stacjach sieci Profibus.

W ten sposób stacje typu "master" dołączone do magistrali tworzą logiczny pierścień. Taki sposób dostępu do medium transmisyjnego określany jest jako hybrydowa metoda dostępu do medium.

Realizowany jest, więc hybrydowy sposób dostępu do magistrali. Protokół PROFIBUS-a jest zorientowany połączeniowo. Każdy Master trzyma adresy znanych mu obiektów, Masterów i Slaves, w swoim spisie obiektów, który zapisywany jest na stałe podczas konfiguracji sieci. Adresowanie określonych instancji obiektów (np. wartość pomiarowa z typem danych, zakres wartości, komentarz itd.) następuje przez wskaźniki.

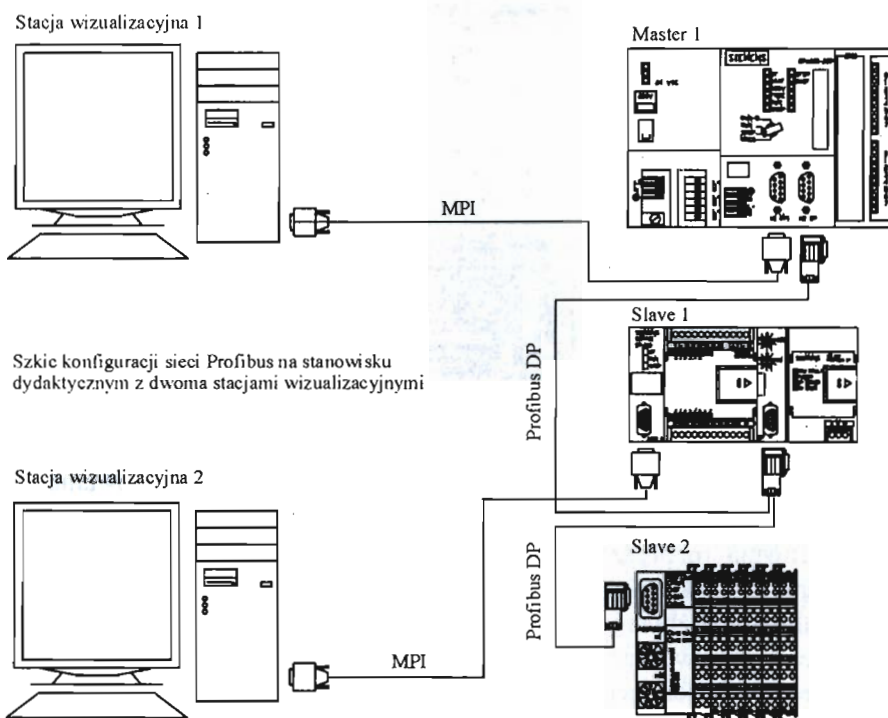
Warstwa liniowa udostępnia następujące usługi komunikacyjne:

- wysyłanie danych bez potwierdzenia (SDN),
- wysyłanie danych z potwierdzeniem (SDA),

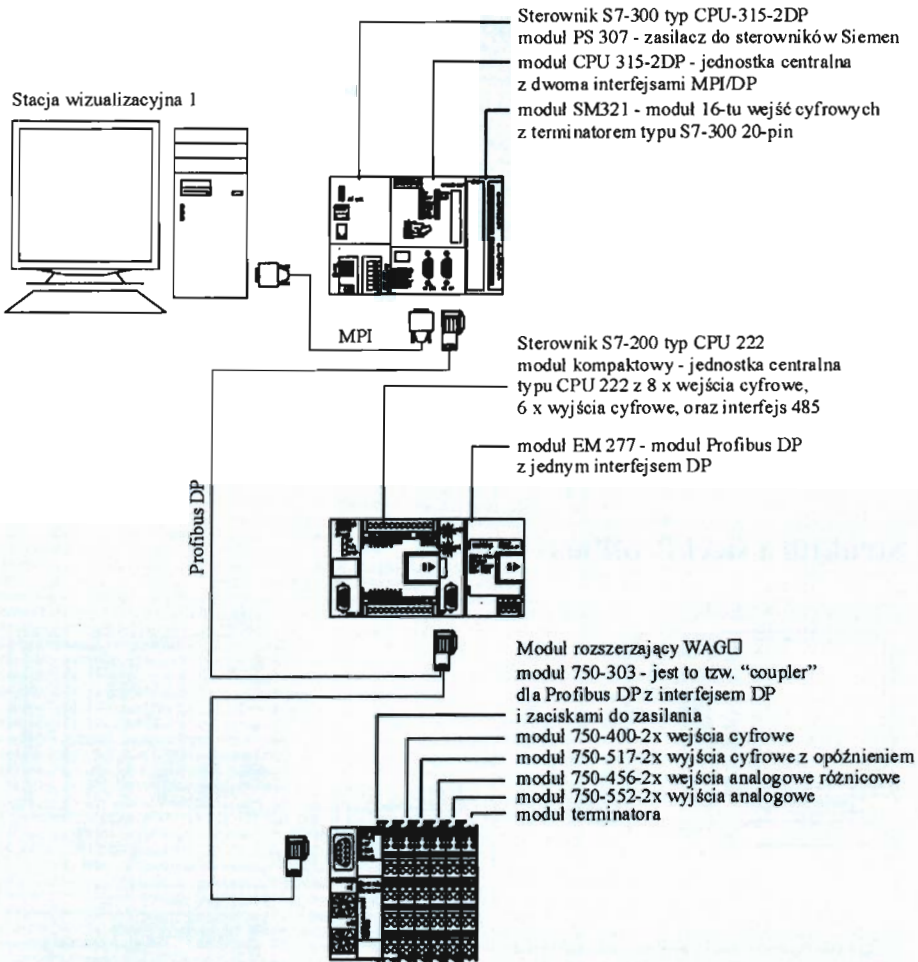
- żądanie danych w odpowiedzi (RDR),
- wysyłanie i żądanie danych (SRD),
- cykliczne żądanie danych w odpowiedzi (CRDR),
- cykliczne wysyłanie i żądanie danych (CSRD).

Jeżeli w sieci znajduje się kilka węzłów nadrzędnych to sieć może być nadzorowana tylko przez jeden z tych węzłów. Każdy węzeł nadrzędny otrzymuje znacznik na czas ustalony w fazie konfiguracji sieci. Węzeł posiadający znacznik może z własnej inicjatywy wymieniać komunikaty z innymi węzłami sieci. Rytm przekazywania komunikatów w ramach transakcji jest wymuszony przez węzeł nadrzędny i nie wiąże się z fazą przetwarzania danych w węźle odpowiadającym. Informacje potrzebne do odpowiedzi są pobierane z bufora komunikacyjnego węzła podrzędnego i wysyłane do węzła nadrzędnego. Informacje te muszą zatem być załadowane wcześniej do bufora komunikacyjnego.

3. Struktura sieci Profibus



Rys. 3. Szkic konfiguracji sieci Profibus



Rys. 4. Schemat konfiguracji sieci Profibus z opisem komponentów

Istotą zarządzania poprzez sieć Profibus, jest realizowanie sterowania w czasie rzeczywistym. Jest to zasadnicza różnica i zaleta w porównaniu do innych sposobów sterowania rozproszonego. Stacje wizualizacyjne stanowią komputery PC o wymaganiach adekwatnych do obsługi programu STEP-7 firmy SIEMENS, za pomocą którego możliwe jest:

- utworzenie sieci wirtualnych połączeń kolejnych stacji, i konfiguracja sieci,
- zapis programu sterującego, oraz modyfikacje,
- sterowanie sposobem przesyłu danych w magistrali,

- wizualizacja działania sieci,
- diagnostyka, i obsługa błędów.

Sterownik nadrzędny typu 'MASTER' pełni zadania:

- konfiguracja sieci, i parametryzacja,
- odczytywanie danych wejściowych z magistrali,
- zapisywanie danych wyjściowych do magistrali,
- odczytywanie danych diagnostycznych z magistrali,

Sterowniki podrzędne typu 'SLAVE' pełnią zadania:

- wykonywanie własnego programu sterowania,
- ustawianie wyjść w zależności od sygnałów wejściowych i realizowanego programu,
- sterownie wyjściami w zależności od sygnałów sterowniczych pochodzących od magistrali,
- odczyt przesyłanego algorytmu sterownika z magistrali i jego realizacja.

Możliwe jest także połączenie obu stacji operatorskich, co daje kontrolę i wizualizację działania sieci nawet z poziomu podrzędnego.

4. Tematyka ćwiczeń realizowanych na stanowisku

Przed przystąpieniem do wykonywania ćwiczeń wymaga się od studenta:

- znajomości programowania w języku drabinkowym Ladder Diagram,
- dobrej znajomości oprogramowania STEP-7 firmy SIEMENS,
- ogólnej znajomości sterowników PLC SIEMENS,
- podstawowych wiadomości na temat sieci przemysłowych.

Przykładowe tematy ćwiczeń możliwe do wykonania:

1. Konfiguracja sieci Profibus DP na bazie sterownika S7300 typu CPU 315 2DP, za pomocą programu STEP7.
2. Acykliczna wymiana danych (Shared I/O) na bazie Sterownik S7300 typu CPU 315 2DP+ S7200 typu CPU 222.
3. Synchroniczna wymiana danych (Sync/Freez) na bazie sterownika S7300 typu CPU 315 2DP.
4. Profile komunikacyjne ProfiDrive.
5. Profile komunikacyjne HMI – Sterownik S7300 typu CPU 315 2DP.
6. Wizualizacja WizCon/Intouch.
7. Profile komunikacyjne HMI/Master/Slave – WizCon/Intouch.
8. Rozproszone sterowanie S7 200 + moduł WAGO.

9. Acykliczna wymiana danych (Shared I/O) na bazie Sterownik S7300 typu CPU 315 2DP+ moduł rozproszonych wejść/wyjść WAGO.
10. Programowanie układów sterowania procesami przemysłowymi.

5. Podsumowanie

Jak widać sieć Profibus to coś więcej niż zwykła transmisja danych. Jest możliwość pełnej lokalnej, czy zdalnej (w pełnym tego słowa znaczeniu) diagnostyki, programowania i uruchamiania sieci. Umożliwia dostęp do innych, pracujących równolegle sieci. Dzięki zastosowaniu takiego stanowiska można poznać zarządzanie w czasie rzeczywistym obiektami zdecentralizowanymi. Jest również możliwość poznania sposobu programowania sterowników PLC, które są szeroko stosowane w przemyśle, możliwość zapoznania się z strukturą sieci i poznać sposoby jej pracy. Wreszcie możemy poznać budowę i sposób współpracy sterowników PLC, oraz metody diagnostyki i sposoby usuwania błędów. Budowa stanowiska dydaktycznego na sieci PROFIBUS daje nam duże możliwości nie tylko dydaktyczne. Zastosowanie sieci Profibus daje nam szereg zalet w porównaniu do innych metod transmisji danych, jak np: wysoką szybkość przekazywania dużej ilości danych, skuteczne zabezpieczenie przed zakłóceniami (szczególnie elektromagnetycznymi) poprzez zastosowanie światłowodów. Te aspekty przyczyniły się do tego, że sieć Profibus stała się jedną z najbardziej popularnych sieci w automatyce, praktycznie we wszystkich dziedzinach przemysłu..

Literatura

1. **Emil Michta:** "Modele Komunikacyjnego Sieciowego Systemu pomiarowo-sterującego" Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej. 2000.
2. SIEMENS „PROFIBUS & AS-Interface” Catalog ST PI 1999.
3. SIEMENS „PROFINet Architecture Description and Specification” August 2001.
4. **Isermann R.:** “Mechatronische Systeme” springer 1999 r.

Jerzy Nachimowicz*

WPŁYW OBRÓBKİ CIEPLNO – CHEMICZNEJ NA PARAMETRY TRIBOLOGICZNE ELEMENTÓW PARY TARCIA

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań tribologicznych nad prasowanymi rotacyjnie spiekami, stalowymi, wykonanymi na bazie proszków żelaza i wybranych dodatków stopowych. Badania przeprowadzono dla dwóch wariantów obróbki cieplno-chemicznej: nawęglania i węglazotowania. Węglazotowanie wykazuje przewagę do nawęglania, obniża bowiem zużycie wszystkich badanych materiałów i rozszerza zakres tarcia normalnego, sczepianie występuje przy znacznie większych naciskach powierzchniowych.

Opracowanie metody prasowania rotacyjnego otworzyło nowe możliwości przed metalurgią proszków. Metoda ta pozwala na uzyskiwanie spieków o dużej gęstości i właściwościach mechanicznych nie ustępujących właściwościom materiałów litych. Elementy maszynowe wykonane tą technologią wykazują również dobre właściwości tribologiczne. Otwarty natomiast pozostaje problem takiego doboru składu proszków i obróbki cieplno-chemicznej, który pozwoliłby na uzyskanie optymalnych parametrów tribologicznych. Najbardziej istotne jest tu uzyskanie możliwie wysokiej odporności na zużycie i zacieranie (sczepianie) [4].

Przedmiotem badań objęto spieki stalowe, wykonane z proszków żelaza typu ASC 100.29 i Distaloy AE. Proszek ASC 100.29 stanowi czyste żelazo z maksymalną zawartością węgla 0,01%. Proszek Distaloy AE zawiera, jako bazowy materiał, proszek ASC 100.29 z dodatkiem 4% Ni, 1,5% Cu i 0,5% Mo. Skład chemiczny i gęstość próbek podano w tabeli 1.

* Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok

Tab. 1. Właściwości chemiczno-fizyczne próbek

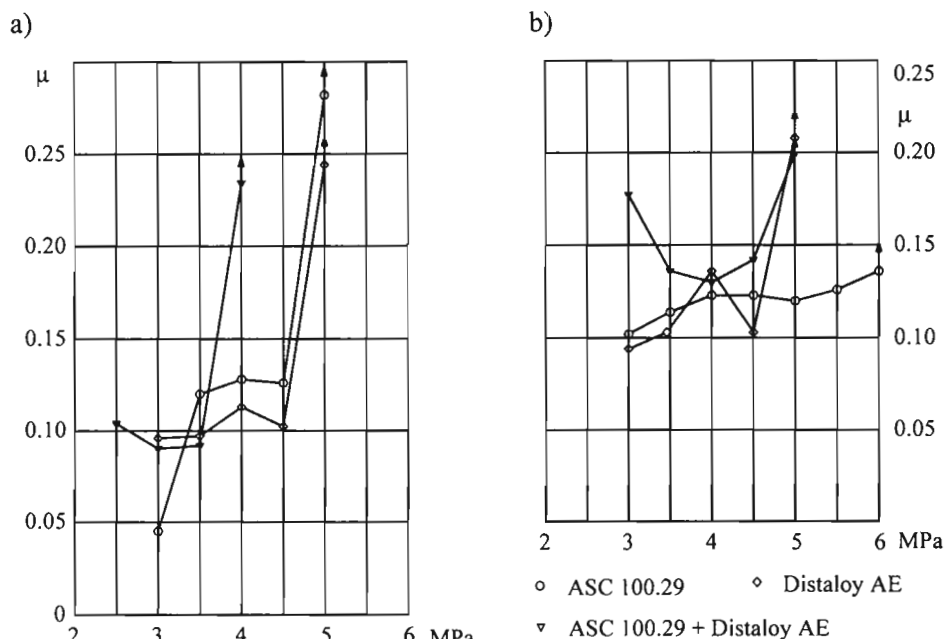
Lp.	Skład chemiczny próbek	Gęstość [g/cm ³]
1	ASC 100.29 – 50% Distaloy AE – 0,18% C	7,68 – 7,69
2	ASC 100.29 – 0,18% C	7,7 – 7,78
3	Distaloy AE – 0,18 C	7,63 – 7,65

Materiał do badań wykonywano w postaci pierścieni, z których wycinano próbki, a następnie poddawano obróbce cieplno – chemicznej. Stosowano dwa rodzaje obróbki: nawęglanie i węgloazotowanie a następnie hartowanie. Obróbkę cieplno – chemiczną prowadzono w temperaturze 850°C w czasie 6 godzin, w atmosferze otrzymanej z pirolizy mieszaniny metanolu i 10% octanu etylu, a w przypadku węgloazotowania, z dodatkiem 25% amoniaku. Twardość próbek po nawęglaniu wynosiła 54, ..., 56 HRC, a po węgloazotowaniu 60, ..., 61, 5 HRC. Przeciwpółki wykonano w postaci pierścieni ze stali 45 hartowanej i odpuszczonej do 50 HRC [3].

Badania przeprowadzono na maszynie tarciovej SMT–1. Nieruchomą próbkę obciążano siłą skierowaną prostopadle do osi ruchomej przeciwpółki. Badane skojarzenie smarowano poprzez zanurzenie przeciwpółki w oleju Hipol 15 MF. W trakcie pomiarów rejestrowano moment tarcia. Pomiary zużycia bezwzględnego badanych próbek przeprowadzono metodą wagową z dokładnością do 10⁻⁵g. Różnica masy przed i po wykonaniu przez próbkę 10⁵ obrotów wyznaczała wielkość zużycia bezwzględnego próbek.

Program badań przewidywał określenie zależności współczynnika tarcia oraz zużycia od nacisków powierzchniowych dla różnych kombinacji składu chemicznego spieków i obróbki cieplno – chemicznej.

Tribologiczną charakterystykę badanych spieków przedstawiono na rys. 1 i 2. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że odporność spieków na zużycie zależy w istotny sposób zarówno od zastosowanego materiału, jak i od przyjętej obróbki cieplno – chemicznej. Najkorzystniejszy jest pod tym względem materiał ASC 100.29, który wykazuje dość znaczną odporność na zużycie i wysoką jej stabilność w szerokim zakresie nacisków powierzchniowych. Węgloazotowanie natomiast wykazuje przewagę w stosunku do nawęglania, obniża bowiem (o rząd wielkości) zużycie badanych materiałów i rozszerza zakres tarcia normalnego, tzn. szczyt występuje przy większych naciskach powierzchniowych, w szczególności dla materiałów ASC 100.29 i materiału złożonego z 50% ASC 100.29 i 50% Distaloy A.



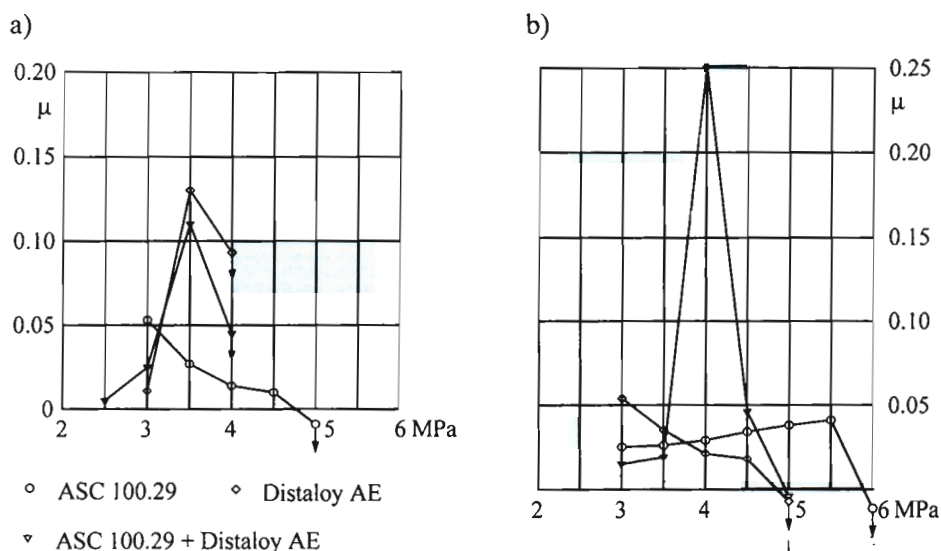
Rys. 1. Zależność współczynnika tarcia od nacisków powierzchniowych: a – nawęglanie; b – węgloazotowanie

W przypadku próbek nawęglanych i hartowanych szepianie pojawia się w zakresie nacisków od 3,5 do 4,0 MPa (50% ASC + 50% Distaloy AE) i od 4,5 do 5,0 MPa (100% ASC i 100% Distaloy AE). Gdy próbki są węgloazotowane, początek szepiania w przypadku materiału 100% Distaloy AE nie zmienia się i zawiera się w przedziale od 4,5 do 5,0 MPa (50% ASC + 50% Distaloy AE) i w przedziale od 5,5 do 6,0 MPa (100% distaloy AE).

Na rysunkach oznaczono strzałkami punkty, przy których obserwowano szepiania. „Ujemne zużycie” przy szepianiu jest wynikiem przenoszenia materiału z przeciwpróbki na próbkę. Jeżeli wartość nacisków powierzchniowych nie przekracza 3,0 MPa w badaniach próbek nawęglanych i 3,5 MPa w badaniach próbek węgloazotowanych, to zużycie próbek jest nieznaczne i porównywalne dla wszystkich materiałów (w ramach tego samego wariantu obróbki cieplno-chemicznej). Po przekroczeniu tych wartości obserwuje się znaczny wzrost zużycia próbek, przy czym, po osiągnięciu maksimum, następuje jego spadek. Jest to prawdopodobnie spowodowane tym, że po przekroczeniu pewnej wartości nacisków powierzchniowych następuje znaczna intensyfikacja zużycia normalnego, a przy dalszym ich

wzroście pojawia się mikroszczepianie. Występują więc jednocześnie dwa konkurujące ze sobą procesy: oddzielanie się cząstek zużycia od powierzchni próbki i przenoszenie cząstek zużycia oddzielonych z powierzchni przeciwpróbki na próbkę. W miarę zwiększania obciążenia intensywność przenoszenia wzrasta o wiele bardziej niż zużywanie próbki i po przekroczeniu pewnej krytycznej wartości zachodzi intensywne szczepianie w całym obszarze kontaktu, co objawia się gwałtownym wzrostem współczynnika tarcia [1].

Współczynnik tarcia w zakresie stosowanych obciążeń zmienia się niejednostajnie i nie wykazuje korelacji z zużyciem. Niejednoznaczny jest również wpływ obróbki cieplno – chemicznej na wartość współczynnika tarcia. Dla jednych materiałów węglazotowanie powoduje jego podwyższenie, a dla innych zmniejszenie w porównaniu do nawęglania. Uzyskano przy tym interesujący i trudny do wytłumaczenia efekt znacznego obniżenia współczynnika tarcia ($\mu = 0,006$ przy $p = 3,0$ MPa) dla materiału 100% ASC, przy jednoczesnym wzroście zużycia.



Rys. 2. Zależność zużycia bezwzględnego próbek o nacisków powierzchniowych: a – nawęglanie, b – węglazotowanie

Stwierdzono, że spieki wykonane z jednego z wybranych proszków wykazują lepsze właściwości niż spieki wykonane z ich mieszaniny. Należy przypuszczać, iż powodem tego jest niejednorodność struktury, będąca wynikiem niedostatecznego

wymieszania składników. Potwierdzenie tej hipotezy wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań strukturalnych warstwy wierzchniej.

Tribologiczne właściwości spieków metali prasowanych rotacyjnie są efektem synergicznego wpływu ich składu chemicznego i obróbki cieplno-chemicznej. Węgloazotowanie powoduje znaczne obniżenie zużycia spieków stalowych i podwyższenie ich odporności na szepianie. Pozytywny wpływ dodatków stopowych stwierdzono jedynie w przypadku spieków poddanych węgloazotowaniu [2].

Literatura

1. **Hebda M.:** Tribologia – WNT, Warszawa, 1980.
2. Poverchnostnaja procnost materialov pri trenii. Pod red. **B. I. Kosteckogo**, Technika, Kiev 1976.
3. **Burakowski T.:** Tendencje rozwoju nowoczesnej obróbki cieplnej. Metaloznawstwo i Obróbka Ciepła, Inżynieria Powierzchni 1987, Nr 85.
4. **Nosal S.:** Wpływ obróbki cieplno-chemicznej na właściwości tribologiczne metali. Przegląd Mechaniczny 1986, Nr 6.

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ROTARY PRESSED SINTERED STEEL

Abstract: In the paper the results of tribological investigations on rotary pressed sintered steel made on the basis of ASC 100.29 and Distaloy AE iron powders are presented. The investigations have been carried out for the two kinds of thermochemical treatment: carburizing and nitrocarburizing.

А. И. Некоз^{*}, Н. Н. Черненко^{*}, С. А. Некоз^{*}, З. Кондрат^{**}

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО КОМПЛЕКТА ВОЛЧКОВ

Содержание: Рассмотрены методы повышения износостойкости деталей режущего комплекта термодиффузионной и электроискровой обработкой. Предложена новая конструкция режущего комплекта (обращённого) мясорезущих волчков, которая обеспечивает улучшение работы и повышение долговечности комплекта.

1. Вступление

При работе режущих элементов волчка изнашиваются только их режущие лезвия. При этом потери массы на изнашивание составляют всего 1-2% от массы инструмента [1]. Поэтому методы поверхностного упрочнения являются наиболее перспективными для обеспечения долговечности ножей и решёток волчков.

Анализ известных технологий и использования их в измельчительном оборудовании мясоперерабатывающей промышленности [1,2,3] показывает, что наибольшего внимания заслуживают методы термодиффузионной обработки и электроискрового легирования. Согласно [4] борирование решёток волчков обеспечивает при работе их в паре с цементованными ножами повышение долговечности в 5-6,5 раз. Однако в работах [2,4] решетки после борирования механически не обрабатывали. Учитывая, что детали после термодиффузионной обработки ведёт, такая технология не может быть рекомендована для широкого внедрения. В работе [2] показано, что борированным деталям комплекта не уступают детали с карбидным

^{*} Национальный университет пищевых технологий (Киев)

^{**} Белостокская политехника

покрытием – хромированные. Сдерживающим фактором внедрения термодиффузионной обработки является значительная длительность выдержки при высокотемпературном насыщении.

Электроискровое легирование обеспечивает достаточно прочное сцепление покрытия с основой, отсутствие существенного термического влияния на детали, возможность нанесения покрытий из разных металлов и сплавов, оно отличается также простотой технологического процесса. Однако данных об исследовании изнашивания деталей режущего комплекта с использованием технологии электроискрового легирования недостаточно.

Несмотря на проведенные исследования, которые показали перспективность износостойких покрытий для режущего комплекта, актуальным остается вопрос интенсификации технологических процессов получения и улучшения их функциональных свойств.

При исследовании процессов изнашивания деталей режущего комплекта и его усовершенствовании недостаточно используются достижения триботехники, которые обеспечивают существенное повышение износостойкости.

2. Повышение износостойкости деталей режущего комплекта

Как уже отмечалось, из износостойких покрытий наиболее перспективными для повышения износостойкости ножей и решеток представляются термодиффузионные (борированные и хромированные), а также электроискровые. Причём, особое научно-прикладное значение имеет проблема интенсификации диффузионных процессов. Учитывая, что твердость решеток волчков должна превышать твердость ножей, в работе основное внимание уделяли термодиффузионной обработке решёток.

Термодиффузионное борирование и хромирование осуществляли в твёрдой засыпке (в порошках) в графитовом контейнере с герметизацией карбидом кремния. Состав порошковых смесей и режим обработки приведены в табл. 1.

Таблица 1. Состав порошковых смесей и режимы обработки

Вид обработки	Состав смесей, %	Режимы обработки	
		T, K	t, час
Борирование	80(SiO ₂ C+50Al ₂ O ₃)+20Na ₃ AlF ₆	1200	6
Хромирование	50FeCr+48Al ₂ O ₃ +2NH ₄ Cl	1273	5

Электроискровые покрытия получали на установках ЭФИ-46А (при режимах, рекомендованных в работе [5]: ток короткого замыкания – 4,6А;

напряжение холостого хода – 130В; рабочий ток – 2,2А; энергия импульса – 3кДж; частота импульсов – 1200Гц), а также на установке ЭИЛВ-8А.

2.1. Термодиффузионное борирование

Учитывая, что изготовление деталей режущего комплекта из малоуглеродистых сталей исключается, исследовали борированные стали 45, У8, У10, 65Г, которые используются и перспективны для изготовления ножей и решёток. Проведенные исследования показали, что с повышением содержания углерода несколько уменьшаются микротвёрдость (в пределах 20-17 ГПа) и общая с переходной зоной толщина покрытия (200-150 мкм).

Моделирование изнашивания пары нож-решётка и исследования износостойкости борированных сталей осуществляли на установке торцового трения на шлифованных по торцу кольцевых образцах (внешний диаметр 30, внутренний – 22 мм) с радиальными пазами, которые имитируют отверстия в решетках. После борирования образцы закаливали при режимах, типовых для исследованных сталей, и отпускали до твердости сердцевины 52...54 HRC. Контртелом служил сплошной кольцевой образец из стали У8 с 56...58 HRC. Результаты экспериментов при трении в модельном мясном растворе показали (табл. 2), что для образцов с пазами, шлифованных после термодиффузионной обработки, повышение износостойкости менее существенно, чем для сплошных образцов, и практически одинаково для исследованных сталей (30-40%). Это обусловлено наличием тонкого боридного слоя на стенках пазов.

Таблица 2. Влияние борирования на изнашивание сталей в модельном растворе (скорость-0,9 м/с; нагрузка –2МПа)

Марка стали	Потери массы ΔG , мг и относительная износостойкость ϵ образцов				
	Без борирования	Борированных сплош-ных (без механической обработки)		Борированных с пазами	
		ΔG	ϵ	ΔG	ϵ
45	8,1	1,8	4,5	5,8	1,4
У8	7,2	2,1	3,4	5,5	1,3
У10	6,8	2,1	3,2	4,6	1,4
65Г	7,4	1,9	3,9	5,7	1,3

Производственные испытания упрочненных термодиффузионным борированием решёток из стали 65Г подтвердили результаты лабораторных исследований (табл. 3).

Разница в показателях износостойкости промежуточной и выходной решёток обусловлена, скорее всего, неодинаковым перекрытием пар трения нож-решётка.

Таблица 3. Влияние борирования на показатели работоспособности и износостойкость решёток*

Марка стали	Микротвёрдость, ГПа	Толщина карбидной зоны, мкм	Потери массы, мг		Относительная износостойкость
			хромированных образцов	Образцов без покрытия	
Сталь 45	1,62	22	5,6	8,1	1,45
У8	1,68	35	5,4	7,2	1,33
У10	1,72	25	5,1	6,8	1,33

* Материал ножей – сталь 65Г, 54-56 HRC

2.2. Термодиффузионное хромовое покрытие

При хромировании средне и высокоуглеродистых сталей на поверхности деталей образуется сплошной слой карбидной фазы. Этот карбидный слой кроме высокой твёрдости (до 2ГПа) отличается высокой прочностью связи с основой и ударной вязкостью.

Проведенные на установке торцового трения испытания в модельном растворе показали (табл. 4), что эффективность хромирования с увеличением содержания углерода в стали, несмотря на некоторое повышение микротвёрдости, уменьшается. Это объясняется, скорее всего, уменьшением толщины карбидного слоя, т.е. для хромированных деталей толщина карбидной зоны является определяющим фактором.

Таблица 4. Влияние хромирования на изнашивание сталей в модельном растворе (скорость 0,9 м/с; нагрузка 2МПа)

Характеристика решёток	Линейный износ, мм	Коэффициент повышения износостойкости	Наработка до отказа, т	Коэффициент увеличения наработки
Промежуточная без покрытия	0,038	2,11	20,8	1,45
Промежуточная хромированная	0,018		30,1	
Выходная без покрытия	0,028	2,33	20,8	1,45
Выходная хромированная	0,012		30,1	

По сравнению с термодиффузионным борированием хромирование обеспечивает несколько большее повышение износостойкости, что обусловлено повышенной ударной вязкостью хромового покрытия по сравнению с боридным.

Результаты испытаний хромированных решеток волчков также подтвердили большую эффективность хромирования по сравнению с борированием (табл. 5).

Таблица 5. Влияние термодиффузионного хромирования на показатели износостойкости и работоспособности решёток*

Характеристика решёток	Линейный износ, мм	Коэффициент Повышения износостойкости	Наработка до отказа, т	Коэффициент увеличения наработки
Промежуточная без покрытия	0,038	2,11	20,8	1,45
Промежуточная хромированная	0,018		30,1	
Выходная без покрытия	0,028	2,33	20,8	1,45
Выходная хромированная	0,012		30,1	

* Материал решёток – У8, твёрдость сердцевины – 55 HRC.

2.3. Упрочнение электроискровым легированием

Для производственных испытаний были выбраны покрытия хромом, сплавом ВК8 и сплавом на основе TiC с добавкой связки-никеля. Результаты испытаний ножей из стали 65Г с нанесёнными на переднюю поверхность электроискровыми покрытиями показали, что наиболее эффективным является покрытие на основе карбида титана (табл. 6).

Таблица 6. Работоспособность ножей с электроискровыми покрытиями

Материал анода	Характеристика покрытия		Наработка до отказа (до переточки), т	Линейный износ, мкм
	Толщина покрытия, мкм	Микротвёрдость		
Без покрытия	—	—	19,8	0,17
Cr	40	0,8	23,5	0,13
ВК8	32	1,1	27,1	0,11
TiC+Ni	33	1,2	28,4	0,11

Структура электроискрового покрытия состоит из внешнего “белого” слоя и диффузионного подслоя и эксплуатационные свойства покрытия определяются свойствами обеих зон. Поэтому интенсификация диффузионных процессов при электроискровом легировании должна способствовать повышению износостойкости покрытия. В связи с этим были проведены испытания ножей, упрочненных электроискровым легированием с предварительным наводороживанием в растворе сероводорода, что интенсифицирует диффузионные процессы [6]. Результаты испытаний показали (табл. 7) эффективность предварительного наводороживания при электроискровом легировании: стойкость ножей повысилась в 1,3...1,5 раза.

Таблица 7. Влияние предварительного наводороживания на работоспособность ножей с электроискровым легированием

Вид покрытия	Режимы наводороживания		Наработка до отказа, т	Коэффициент увеличения наработки*
	Длительность выдержки, час	Концентрация H_2S , мг/л		
Без покрытия	–	–	19,8	1,37
ВК8	–	–	27,1	1,43
ВК8	120	500	28,3	1,44
TiC+N	–	–	28,4	1,46
TiC+N	90	400	28,8	1,49
TiC+N	120	500	29,5	

* По сравнению с ножом без покрытия

3. Усовершенствование режущего компонента

Производственный опыт и анализ литературных данных свидетельствуют, что наиболее распространенные крестоподобные ножи волчков довольно часто выходят из строя вследствие разрушения около ступицы. Более прочными и надежными являются кольцеподобные ножи (с ободом), которые выпускаются некоторыми фирмами. Однако наличие обода в таких ножах уменьшает сечение и пропускную способность комплекта, а следовательно, и производительность волчка.

Нами на основе использования известного в триботехнике принципа прямой и обратной пар трения [7] разработана конструкция режущего комплекта, в которой используются достоинства кольцеподобных ножей без уменьшения пропускной способности и производительности. Последние работы в области триботехники показали [8], что по расположению

элементов пары трения по твердости и площади трения можно выделить такие пары трения:

- прямые, если подвижный элемент пары имеет большие твердость и рабочую площадь трения;
- обратные пары по материалам, в которых подвижный элемент имеет меньшую твердость, но большую рабочую площадь;
- обратные пары по материалам и геометрии, когда подвижный элемент пары имеет меньшую твердость и рабочую площадь по сравнению с неподвижным.

Согласно [8] наименьшую интенсивность изнашивания имеют прямые пары, а наибольшую – обратные по материалам и геометрии.

Анализ пары трения нож-решетка показывает, что во всех известных волчках реализована обратная по материалам и геометрии пара, т.е. самый неблагоприятный вариант. На основании этого анализа был разработан и испытан режущий комплект, который работает по принципу прямой пары. Он состоит из установленных в гильзе волчка четырех неподвижных кольцеподобных ножей (с ободом) и размещенных на выходном валу трех вращающихся решёток (см.рис.1).

Разработанная конструкция режущего комплекта имеет ряд преимуществ по сравнению с выпускаемыми в настоящее время:

- 1 – использование кольцеподобных ножей, которые характеризуются большей за счет наличия обода прочностью по сравнению с крестоподобными, дает возможность уменьшить ширину режущих элементов (перьев ножа), что способствует вследствие увеличения рабочего сечения комплекта уменьшению сопротивления движению фарша и энергетических затрат;
- 2 – увеличение диаметра кольцевого ножа до величины диаметра отверстия в гильзе обеспечивает возможность выбрать внутренний диаметр кольцевого обода ножа равным (не меньшим) внешнему диаметру крестоподобного ножа, т.е. наличие обода в неподвижном ноже не уменьшает сечение комплекта;
- 3 – увеличение плоскостей резания (до 5 против 4 в существующем комплекте, который состоит из трех решеток и двух ножей) способствует повышению производительности волчка и уменьшению энергозатрат;
- 4 – при работе предложенного комплекта, который можно назвать обращённым, в рабочей зоне вращается не вся масса продукта, а только та, что находится в отверстиях решёток, что обуславливает менее напряженное состояние частиц фарша и уменьшение энергозатрат.

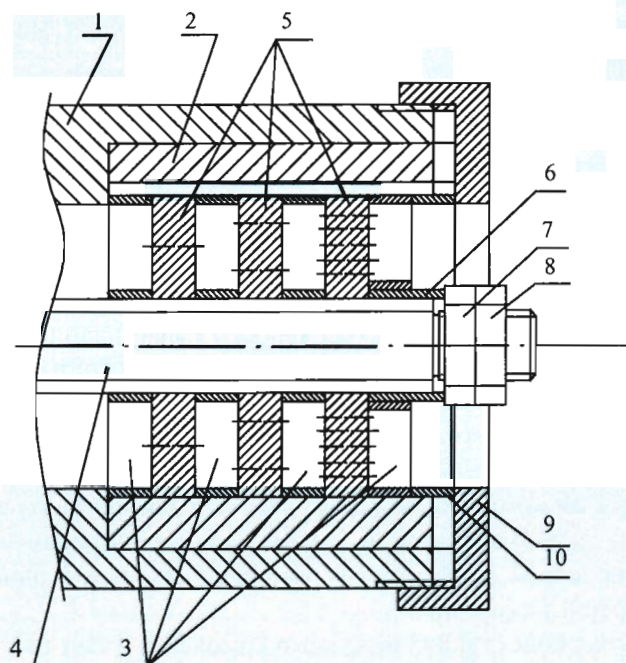


Рис.1. Схема обращенного режущего комплекта: корпус волчка; 2 – гильза; 3 – неподвижные ножи с ободом; 4 – выходной вал; 5 – вращающиеся решетки; 6 – втулка (пружина); 7 – гайка; 8 – контргайка; 9 – гайка нажимная; 10 – промежуточная нажимная втулка.

Производственные испытания обращённого комплекта показали, что он обеспечивает увеличение производительности волчка на 10-12%, наработки до отказа – на 25-35% и уменьшение энергозатрат на 5-6%.

4. Заключение

Всесторонние исследования перспективных материалов и конструкций показали, что имеются существенные резервы повышения долговечности режущего комплекта и эффективности его работы. Сравнительный анализ полученных результатов исследований позволяет заключить, что:

1. Термодиффузионная обработка деталей комплекта из средне- и высокоуглеродистых сталей обеспечивает увеличение наработки до отказа: борирование – до 42%, хромирование – до 45%.
2. Перспективным методом повышения надежности и долговечности ножей (а также приемных решёток) является поверхностное упрочнение электроискровым легированием. Электроискровое легирование с предварительным наводороживанием в растворе сероводорода обеспечивает увеличение наработки до отказа на 30-50%.
3. Производственные испытания подтверждают работоспособность обращенного режущего комплекта и показали, что он обеспечивает качественное измельчение продукта, снижение интенсивности изнашивания и энергозатрат.

Литература

1. **Чижилова Т. В.:** *Перспективы повышения надежности оборудования.* Молочная и мясная промышленность СССР. – 1989. – № 3. – С.14-16.
- Ворошнин Л. Г., Васильев Л. А., Борисенок Г. В. и др.:** *Повышение эксплуатационной стойкости рабочих органов мясоперерабатывающего оборудования.* Мясная индустрия СССР. – 1986. – № 1.-С.29-32.
2. **Мартынов Г. А.:** *Электроискровое легирование режущего инструмента.* Молочная и мясная промышленность СССР. – 1989. – № 3.-С.40-42.
3. **Чижилова Т. В., Седунов В. К.:** *Упрочнение быстроизнашивающихся решёток измельчителей мясного сырья // Мясная индустрия СССР.* – 1985. – № 3.С.23-26.
4. **Верхотуров А. Г., Муха И. М.:** *Технология электроискрового легирования металлических поверхностей.:* К.: Техника, 1992. – 182с.
5. **Стечишин М. С.:** *Долговечность деталей оборудования пищевой промышленности при коррозионно-механическом изнашивании:* Дис... д-ра техн. наук: 05.02.04. – Хмельницкий, 1998. – 346с.
6. **Гаркунов Д. Н.:** *Триботехника.* – М.: Машиностроение, 1985. – 424с.
7. **Войтов В. А.:** *Моделювання процесів тертя та зношування у трибосистемах гідромашин як основа рішення задач проектування:* Автореф. дис...д-ра техн. наук: 05.02.04. – технол. ун-т Поділля. – Хмельницький, 1999 – 35с.

INCREASE OF DURABILITE AND IMPROVEMENT OF CUTTING SET OF CUTTING MACHINE

Summary: The article submits the research of influence of thermodiffusion processing (borating and chromium-plating) and of electric-spark hardening on endurance of a cutting machine. The new desing of the cutting set (inverted) is offered which provides improvement of worc and increase of durabilite of a cutting set.

Sławomir Obidziński*

UNIWERSALNE STANOWISKO DO BADAŃ PROCESU CIŚNIENIOWEJ AGLOMERACJI MATERIAŁÓW ROŚLINNYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono nowe stanowisko badawcze SS-1 do badania procesu ciśnieniowej aglomeracji materiałów roślinnych. W artykule przedstawiona została również metodyka badań procesu granulacji pasz (badanie wpływu parametrów procesowo-aparaturowych na energochłonność procesu, na naciski, na jakość otrzymanego granulatu jak również na zmiany współczynnika tarcia na długości otworu i na wysokości matrycy).

1. Wstęp

Ciśnieniowa aglomeracja materiałów pochodzenia roślinnego jest procesem, w którym rozdrobniony materiał, pod działaniem sił zewnętrznych i wewnętrznych, ulega zagęszczeniu, a otrzymany produkt (aglomerat) uzyskuje określoną, stałą formę geometryczną.

Najczęściej spotykany, w praktyce przemysłowej, rodzajem procesu jest granulowanie i brykietowanie.

Granulowanie i brykietowanie rozdrobnionych materiałów roślinnych, pod względem fizycznym, są bliźniaczymi procesami, których przebiegi jakościowe są bardzo zbliżone do siebie. Realizacja tych procesów odbywa się w układach roboczych, które dość istotnie różnią się. Układy granulujące – to przeważnie „płaska lub pierścieniowa matryca z otworami o średnicach 2,5 – 10 mm – rolki prasujące”. Układy brykietujące – to przeważnie „komora otwarta – tłok”, „komora otwarta – ślimak”.

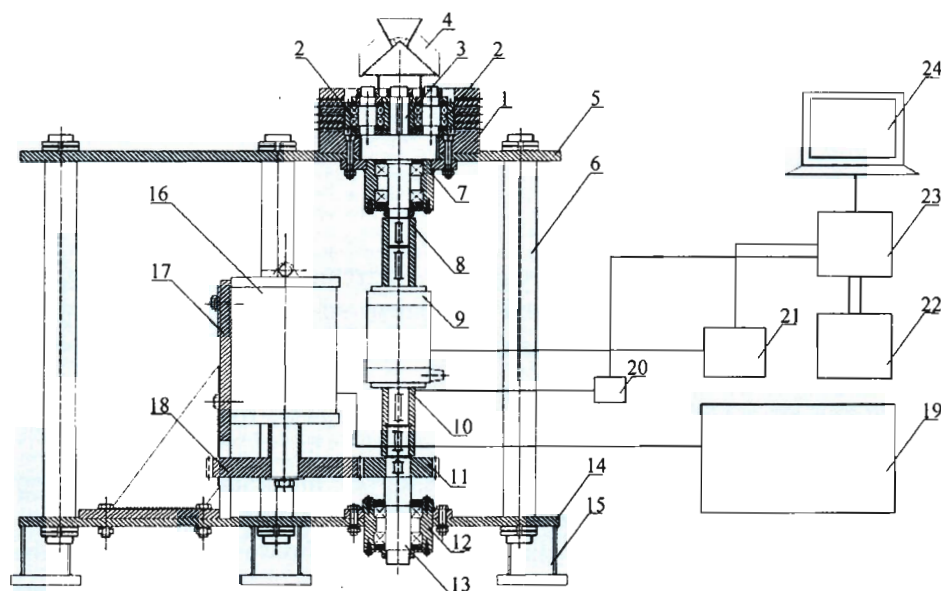
* Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok

Należy dodać, że brykiety paszowe można otrzymać w układach granulujących z matrycami o otworach 15-25 mm. Brykiety opałowe (średnica 30-60 mm) otrzymuje się w układach roboczych - brykietujących.

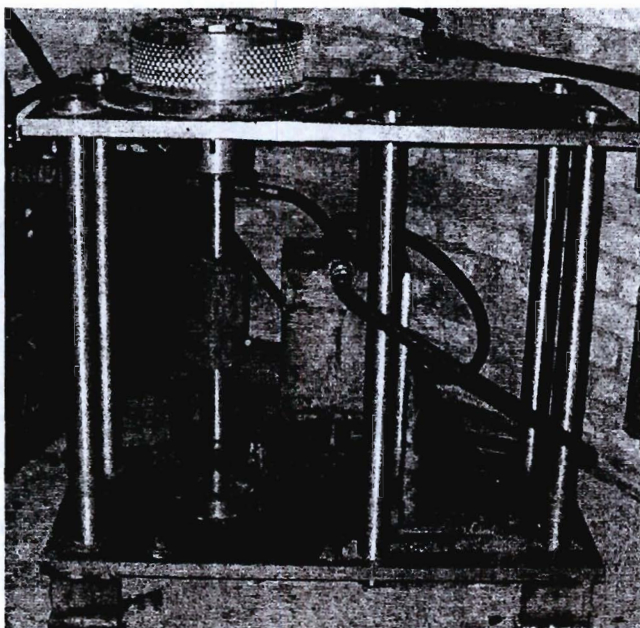
Granulowanie i brykietowanie materiałów roślinnych znalazło powszechne zastosowanie w produkcji pasz przemysłowych oraz ekologicznego paliwa stałego. Proces granulowania i brykietowania innych materiałów jest często wykorzystywany w przemyśle górniczo-hutniczym, chemicznym, spożywczym, farmaceutycznym [3].

2. Opis stanowiska SS-1

Uniwersalne stanowisko badawcze przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Schemat stanowiska SS-1: 1 – matryca, 2 – rolki prasująca, 3 – wałek mocujący układ rolek zagęszczających, 4 – układ dozowania paszy, 5 – płyta górna (mocująca matrycę), 6 – kolumny ustalające, 7 – osłona łożysk górnych, 8 – tuleja łącząca momentomierz z wałem górnym, 9 – momentomierz, 10 – tuleja łącząca wał dolny z momentomierzem, 11 – koło zębate małe, 12 – osłona łożysk dolnych, 13 – wał dolny, 14 – płyta dolna, 15 – nóżki, 16 – silnik hydrauliczny, 17 – płyta mocująca silnik, 18 – koło zębate duże, 19 – hydrauliczny układ zasilający, 20 – obrotomierz, 21 – wskaźnik momentu obrotowego i siły, 22 – mostek tensometryczny, 23 – rejestrator, 24 – komputer



Rys. 2. Widok stanowiska badawczego SS-1 (bez dozownika)

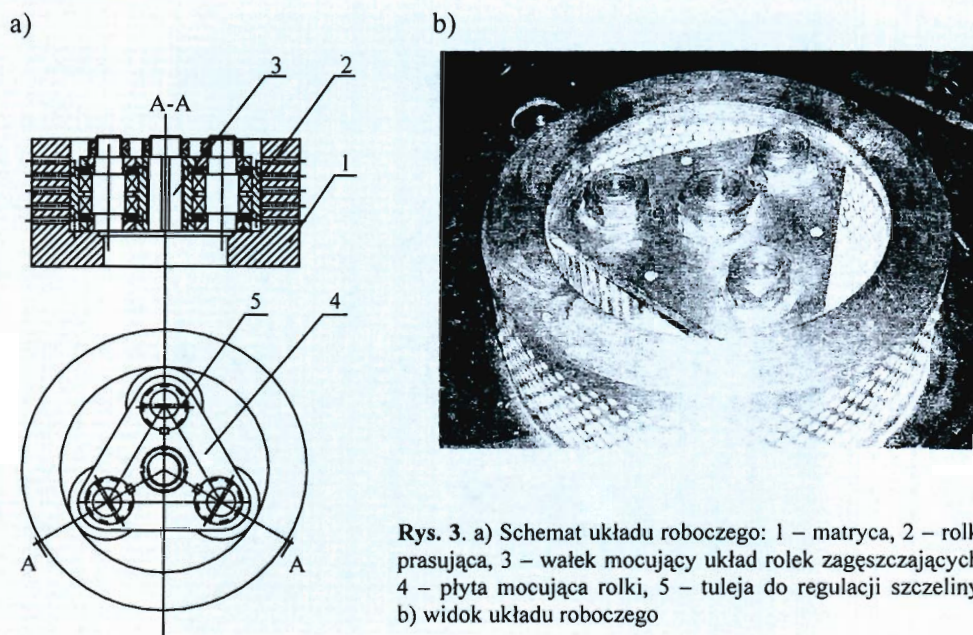
Stanowisko SS-1 zostało skonstruowane i wykonane w Katedrze Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego Politechniki Białostockiej.

Stanowisko SS-1 składa się z układu roboczego, układu napędowego oraz układu dozowania surowca.

Układ roboczy składa się z pierścieniowej matrycy 1, która mocowana jest za pomocą śrub do płyty górnej 5 (matryca może być wymieniana w zależności od potrzeb – o różnej wielkości otworów lub też o różnej grubości ścianki), oraz z trzech rolek zagęszczających 2 zamontowanych na wale górnym 3.

Układ napędowy stanowi silnik hydrauliczny 16 mocowany do płyty dolnej 14 przez płytę 17. Z silnika napęd przekazywany jest poprzez koło zębate duże 18, koło zębate małe 11 na wał dolny 13 i przez tuleję 10 na momentomierz 9 (służy do pomiaru momentu obrotowego podczas pracy urządzenia). Z momentomierza poprzez tuleję 8 napęd przenoszony jest na wał górny 3, na którym zamontowany jest układ trzech rolek zagęszczających 2 (rys. 3).

Równomierne podawanie paszy zrealizowane jest za pomocą układu dozowania 4 (rys. 4).

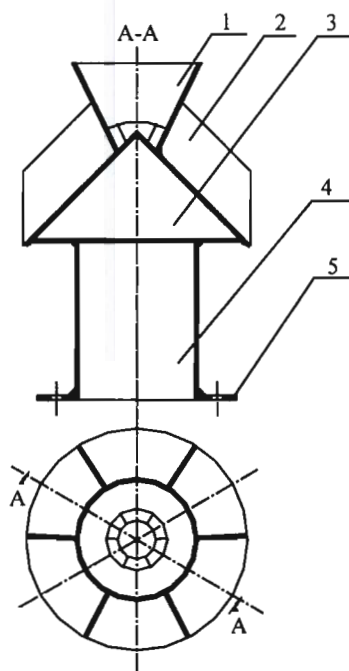


Rys. 3. a) Schemat układu roboczego: 1 – matryca, 2 – rolki prasująca, 3 – wałek mocujący układ rolek zagęszczających, 4 – płyta mocująca rolki, 5 – tuleja do regulacji szczeliny, b) widok układu roboczego

Układ dozujący (rys. 4) obraca się wraz z obrotem rolek zagęszczających. Równomierne rozprowadzanie surowca do wnętrza matrycy pod każdą z rolek zagęszczających uzyskano za pomocą otworów wyciętych w leju (stożku) zasypowym 1 naprzeciwko każdej z trzech rolek.

Przedstawione na rys. 1 uniwersalne urządzenie brykietująco-granulujące ma następujące zalety:

- prosta konstrukcja układu granulującego,
- zastosowanie trzech rolek zagęszczających czyni pracę układu bardziej stabilną,
- możliwość regulacji szczeliny (za pomocą specjalnych tulejek z przesunięciem mimośrodowym)
- możliwość łatwej wymiany rolek prasujących,
- możliwość stosowania różnych rozwiązań matryc przy tym samym układzie napędowym,
- łatwość wymiany matrycy i rolek prasujących.



Rys. 4. Schemat układu dozowania surowca:
1 – lej zasypowy, 2 – blachy dzielące stożek na trzy strefy, 3 – stożek zsypowy, 4 – wałek (podstawa), 5 – kołnierz mocujący dozownik do płyty

3. Metodyka badań

Stanowisko badawcze SS-1 pozwala na badanie przebiegu wartości następujących wielkości:

- momentu obrotowego na wale granulatora,
- prędkości obrotowej wału granulatora,
- jednostkowych nacisków zagęszczających,
- temperatury produktu.

Przebieg badań realizowano trzech etapach:

- przygotowania surowca do badań,
- badania procesu aglomeracji i rejestracja wyników,
- analiza wyników i ocena jakości otrzymanego produktu.

Przygotowanie surowca polega na uzyskaniu odpowiedniej wilgotności badanej mieszanki paszowej. W tym celu mieszankę w mieszarce bębnowej (XMF-8) natryskiwano wodą, po wymieszaniu sprawdzano wilgotność mieszanki testerem wilgotności WD-1. Następnie wykonywano korektę wilgotności (po 8 godzinach) i nawilżoną mieszankę dokładnie pakowano do foliowych worków. Kolejno (po 24 godzinach) określano wartość wilgotności mieszanki za pomocą wagosuszarki (WS-30).

Badania procesu ciśnieniowej aglomeracji prowadzono przy zadanej wilgotności mieszanki i po ustaleniu odpowiednich parametrów pracy stanowiska badawczego tj. prędkości obrotowej wału granulatora, wydajności procesu itp. (dla danego eksperymentu). Po uzyskaniu odpowiedniej temperatury układu roboczego granulatora (stała temperatura otrzymywanego granulatu) przeprowadzano właściwe pomiary wartości momentu obrotowego na wale granulatora, prędkości obrotowej wału, jednostkowych nacisków zagęszczających, temperatury produktu.

W trzecim etapie określano gęstość otrzymanego granulatu (zmierzenie masy 15 granul w postaci walca i określenie ich objętości) oraz wykonano badania jakości tegoż granulatu (po 24 godzinach określano wskaźnik wytrzymałości kinetycznej P_{dx} zgodnie z normą BN-71/9160-3). Otrzymane wyniki badań poddano analizie z wykorzystaniem oprogramowania statystycznego (Excel, Statistica).

4. Podsumowanie

Na podstawie wyników badań wstępnych na stwierdzono, że stanowisko badawcze SS-1 pozwala na realizację badań wg. przyjętej metodyki. Otrzymany granul ma wysoką jakość. Wstępne badania potwierdzają wyniki badań innych autorów [1,2,4]. Stwierdzono, że badaniom ciśnieniowej aglomeracji na stanowisku SS-1 może być poddana szeroka gamma materiałów roślinnych (mieszanki paszowe, rozdrobniona słoma, trociny, rozdrobnioną korę, łuskę gryki itp.).

Stanowisko SS-1 stanowi bazę do dalszych badań, które pozwolą na określenie najkorzystniejszych parametrów konstrukcyjnych i procesowych układu roboczego z pierścieniową matrycą z użyciem różnych rozdrobnionych materiałów roślinnych, w tym odpadowych.

Literatura

1. **Czaban J.:** Ciśnieniowa aglomeracja pasz w układzie roboczym granulatora. Praca doktorska. Politechnika Białostocka, Białystok 2000.
2. **Demianiuk L.:** Brykietowanie rozdrobnionych materiałów roślinnych. Praca doktorska. Politechnika Białostocka. Białystok 2001.
3. **Hejft R.:** Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Wyd. Biblioteka Problemów Eksploatacji. ITE Radom. 2002. s. 257.
4. **Hejft R.:** Ciśnieniowa aglomeracja pasz i podstawy konstrukcji urządzeń granulująco-brykietujących. Rozprawy Naukowe Politechniki Białostockiej, nr 11, Białystok 1991.

UNIVERSAL STAND TO EXAMINATION OF THE PRESSURE AGGLOMERATION OF VEGETABLE MATERIALE PROCESS

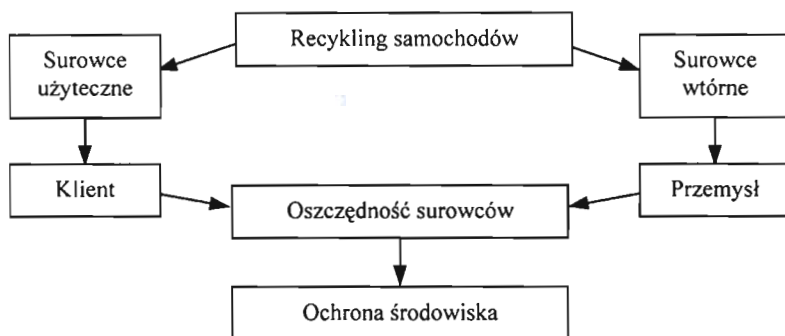
Summary: New examination stand to examination of the pressure agglomeration of vegetable materials process was presented in this paper. The metod of the examination of fodder granulating process (the investigation of the influence of the technical –technological parameters on energy-absorptivity process, pressure, granulated product quality, as well as variations, of the friction factor on hole's length and die block's height was presented in this work.

Janusz Oprędkiewicz*, Bolesław Stolarski**

MODELOWANIE RECYKLINGU SAMOCHODÓW

Streszczenie: Artykuł omawia nowoczesne, naukowe opracowanie problemu recyklingu samochodów. Przedstawiona została propozycja autorskich programów baz danych, wiedzy technologicznej recyklingu wsparta metodami komputerowymi modelowania i monitoringu. Metody te mają zapewnić bezpieczeństwo instalacji recyklingu.

Recykling samochodów jest procesem przetwarzania wyeksploatowanych pojazdów z odzyskiem podzespołów, części zamiennych i materiałów bezpośrednio lub pośrednio zawracanych do ich ponownego przetwórstwa (rys.1)



Rys. 1. Recykling

Dlatego też recykling urósł do roli gałęzi wiedzy nowoczesnej, dynamicznie się rozwijającej i stanowiącej również dziedzinę biznesu. Stał się koniecznością wynikającą z zagrożeń, jakie stwarzają dla środowiska naturalnego człowieka porzucone wraki samochodów. Jest to również możliwość pozyskiwania cennych

* Instytut Pojazdów Szynowych, Politechnika Krakowska

** Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, Politechnika Krakowska

surowców, a w konsekwencji oszczędność zasobów naturalnych. Szacuje się, że obecnie w Polsce jest ponad 2 mln sztuk samochodów (spośród 7 mln ogółem zarejestrowanych) eksploatowanych przez ponad 15 lat i liczba ta będzie wzrastać. Natomiast recykling zużytych samochodów jest w Polsce wciąż na etapie dyskusji i organizowane są dopiero pojedyncze stacje z prawdziwego zdarzenia.

Przyspieszone w ostatnich latach tempo motoryzacji w Polsce, oraz brak prawidłowej gospodarki wrakami samochodowymi prowadzi do dużego zanieczyszczenia środowiska naturalnego, oraz marnotrawstwa materiałów. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w roku 1994 w Polsce było zarejestrowanych 10,85 mln pojazdów, które średnio po 15 – letniej eksploatacji są wycofywane. Rocznie przybywa około 300 tys. pojazdów, przy czym samochody używane sprowadzane z zagranicy wycofywane są na ogół w Polsce po krótszym okresie eksploatacji.

W krajach rozwiniętych, gdzie ten problem został wcześniej dostrzeżony, utworzono sieć stacji demontażu pojazdów. Najczęściej stacje tworzą duże firmy produkujące samochody jak np.: Fiat, Volkswagen, Peugeot, Renault. Stacje te współpracują z firmami zajmującymi się recyklingiem wyrobów tworzyw sztucznych, gumy, szkła, akumulatorów itp., co zapewnia im systematyczny odbiór i wykorzystanie odzyskiwanych surowców wtórnych.

Dobrowolne porozumienie zawarte we Francji w sprawie recyklingu samochodów przewiduje, iż w najbliższych latach objętych będzie: 75% (wagowo) pojazdów, natomiast w roku 2002 – 85%, a w roku 2015 – 95%.

Porozumienie zawarły: stowarzyszenie producentów i importerów samochodów, przedsiębiorstwa zajmujące się recyklingiem oraz odpowiednie ministerstwa.

W sieci recyklingu pojazdów Francji uczestniczą:

- przedsiębiorstwa demontażu samochodów,
- młyny przemysłowe (strzępiarki)
- przedsiębiorstwa odzysku materiałów,
- zakłady energetyczne,
- producenci części samochodowych regenerowanych,
- producenci samochodów.

Utworzono system odbioru wycofanych z eksploatacji samochodów z różnych źródeł a mianowicie:

- punktów sprzedaży samochodów prowadzonych przez producentów,
- przedsiębiorstw ubezpieczeniowych,
- parku samochodowego służb publicznych,
- sieci punktów naprawczych samochodów,
- od prywatnych właścicieli samochodów.

W Niemczech istnieje porozumienie obejmujące wszystkich producentów samochodów oraz szereg europejskich gałęzi przemysłu chemicznego związanego z tworzywami sztucznymi. W ramach tego porozumienia każdy producent samochodów przeprowadził odpowiednie badania w przedsiębiorstwach recyklingowych. Z tych badań wynika, że wymontowanie ze starego samochodu 10 kg tworzyw sztucznych zajmuje około pół godziny, co czyni koszt 4 DM na 1 kg tworzywa. Są możliwości (z nowych samochodów i przy udoskonalonych metodach demontażu) dwukrotnego zwiększenia pozysku tworzyw sztucznych w tym samym czasie.

Demontaż samochodów wycofanych z eksploatacji w stacjach recyklingu przebiega według następujących faz:

- osuszenie samochodu przez usunięcie płynów i wymontowanie akumulatora,
- demontaż części metalowych oraz tworzyw sztucznych, tekstyliów, szkła do odzysku materiałowego m.in. wykorzystania jako części zamienne lub surowce wtórne,
- strzępienie w młynach z podziałem na metale żelazne, nieżelazne i pozostałe materiały niemetalowe,
- energetyczne wykorzystanie pozostałości niemetalowych z młyna przez spalanie.

W Niemczech uważa się, aby cały proces recyklingu został przeprowadzony w sposób satysfakcjonujący z ekologicznego i ekonomicznego punktu widzenia. Jest niezbędne istnienie:

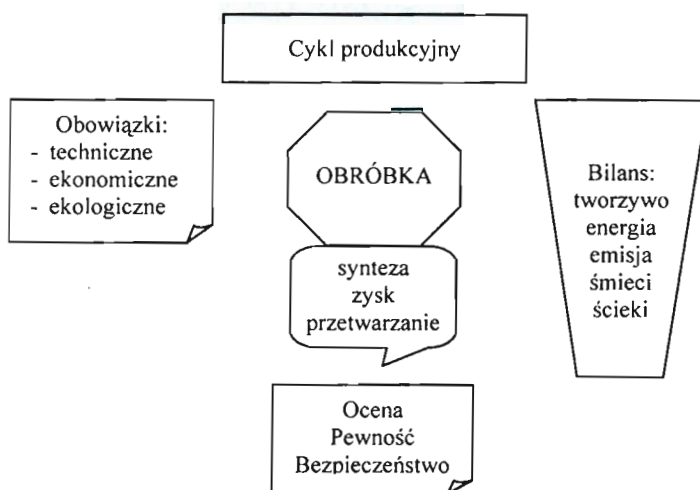
- średniej wielkości lokalnej stacji demontażu działających na wysokim poziomie technicznym i sprawnie zarządzanych,
- centralnie zorganizowanej sieci recyklingu prowadzonej przez większe przedsiębiorstwo przemysłowe,
- kilku młynów przemysłowych z urządzeniami do mechanicznego oddzielania materiałów niemetalowych,
- zakładów cieplnej lub chemicznej obróbki odzyskanych z młynów frakcji organicznych oraz zakładów przetapiających metale,
- regionalnych i centralnych zakładów przetwarzających odzyskiwane materiały i płyny oraz zakładów regenerujących części przeznaczone do wtórnego użytku.

Recykling samochodów nabiera w polskich warunkach coraz większego znaczenia. Lawinowo zwiększająca się ilość samochodów do kasacji powoduje z jednej strony powstanie coraz większego zagrożenia ekologicznego, a drugiej strony rosną możliwości taniego uzyskiwania pełnowartościowych surowców wtórnych. Ponieważ obecnie wykonywany recykling w Polsce jest w fazie szczytowej jest najlepszy moment, aby wprowadzić w pełni bezpieczne ekologicznie rozwiązania wsparte najnowszymi technologiami komputerowymi pozwalającymi

na maksymalne wykorzystanie produktów recyklingu i pozwalającymi równocześnie na zapewnienie maksymalnego bezpieczeństwa ekologicznego. Problemy te będą rozwiązane w proponowanym projekcie. Oparty jest on na w pełni oryginalnej koncepcji sprzęgnięcia wysokozaawansowanych technologii recyklingu z zaawansowanymi technologiami komputerowymi dla osiągnięcia celów praktycznych takich jak maksymalizacja globalnego efektu ekonomicznego i maksymalizacja bezpieczeństwa ekologicznego instalacji i produktów recyklingu.

W projekcie zostaną wykonane oryginalne programy autorskie baz danych wiedzy technologicznej recyklingu wsparte metodami komputerowymi modelowania i monitoringu bezpieczeństwa instalacji recyklingu. Ukierunkowane problemowo programy służyć mogą do symulacji jak i do pracy on-line w MRS. Bazować będą na ACCESS, MATLAB, z zastosowaniem nieklasycznych adaptacyjnych metod prognozowania bezpieczeństwa w wielowymiarowych przestrzeniach stanów granicznych instalacji i procesów recyklingu samochodów. Proponowane rozwiązania spełniać będą wszystkie wymagania ISO i Euronorm zarówno w części procesowej jak również dla instalacji, systemu komputerowego i metody modelowania i monitorowania recyklingu.

Na rys 2. pokazano rozległość problemu MRS i zasięg proponowanego rozwiązania.



Rys. 2. Problematyka MRS (Modelowanie Recyklingu Samochodów)

W sytuacji polskiej gospodarki wolnorynkowej brak jest narzędzia w postaci komputerowej technologii, które pozwalałaby na przewidywanie jakości i niezawodności i efektywności recyklingu samochodów w zależności od parametrów recyklingu samochodów. Narzędzie takie jest niezbędne, aby można było obiektywnie oceniać walory konkurencyjne różnych opcji. Brak takiego narzędzia prowadzi do dużych strat ekonomicznych w dłuższej perspektywie, a także do zmniejszenia bezpieczeństwa ekologicznego w skali lokalnej i globalnej.

Inną istotną dziedziną aplikacji MRS są też uzyskiwane efekty ekologiczne i oszczędność energii i surowców.

Obecnie w Polsce i na świecie brak jest rozwiązania, które łączyłoby złożone technologie recyklingu samochodów z komputerową technologią modelowania recyklingu dla uzyskania efektywności ekonomicznej i najwyższego stopnia bezpieczeństwa ekologicznego instalacji i systemów recyklingu samochodów.

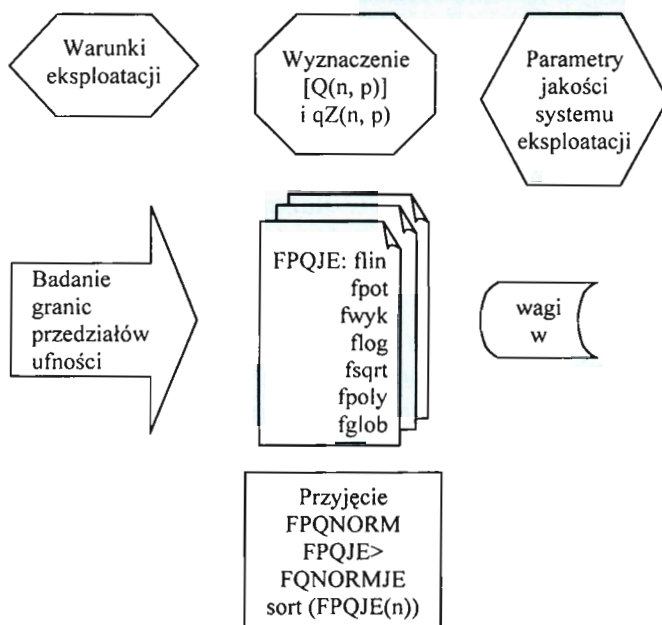
Pojedyncze instalacje recyklingu o różnym zasięgu pracują skutecznie na świecie, lecz brak jest kompleksowego powiązania z bezpieczeństwem ekologicznym w skali globalnej państwa. A to w warunkach Polski, która z uwagi na swe położenie geopolityczne i gospodarcze staje się powoli zbiornicą zużytych samochodów jest niezwykle istotne. Dlatego proponowane rozwiązanie jest w nurcie najbardziej istotnych potrzeb i to zarówno z punktu widzenia poznawczego jak i zastosowań praktycznych – w tym najważniejszych problemów bezpieczeństwa ekologicznego państwa.

Z rys. 2. wynika też natychmiast możliwość symulacji problemów w MRS.

Każda z danych wejściowych w zakresie parametrów p , warunków eksploatacji, czy stosowania różnych postaci funkcji f może być symulowana w podanych algorytmach przy zastosowaniu generatorów liczb pseudolosowych. Generatory te to opracowane specjalnie pod specyfikę MRS generatory GENMRS. Pozwala to na kwantyfikację wszystkich elementów recyklingu samochodów jak na rys. 3.

Współczesne wymagania wymuszają na producentach samochodów stosowanie komputerowej technologii jakości i niezawodności. Dotyczy to zwłaszcza recyklingu samochodów.

Zadanie to jest realizowane przez proponowany System Efektywności, Jakości i Niezawodności Recyklingu Samochodów (SEJNS) MRS – rys. 4.



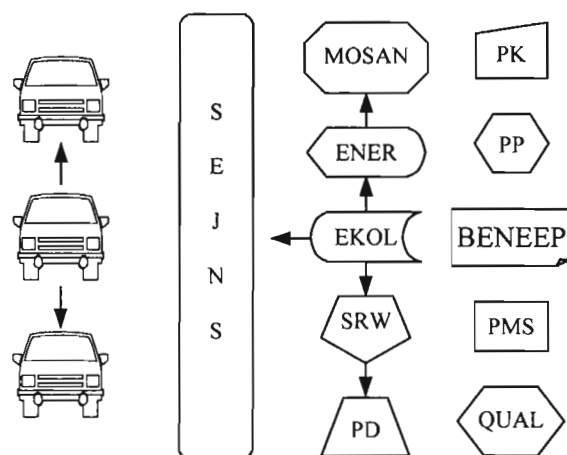
Rys. 3. Procedura kwantyfikacji jakości w MRS

Opis oznaczeń: MOSAN – moduł analizy statystycznej, PK – pakiet komunikacyjny, ENER – moduł minimalizacji energetycznej, PP – pakiet problemowy, EKOL – pakiet bezpieczeństwa ekologicznego, BENEER – biblioteka wiedzy w zakresie recyklingu i bezpieczeństwa ekologicznego, SRW – sformalizowana reprezentacja wiedzy o technologiach recyklingu, PMS – pakiet modelowania recyklingu, PD – pakiet dynamicznego kierowania procesami recyklingu, QUAL – pakiet monitorowania jakości i bezpieczeństwa.

Podstawę przetwarzania danych w SEJNS stanowią zaawansowane zautomatyzowane procedury statystyczne. Wykraczają one daleko poza pakiety firmowe takie jak STATGRAF i ujmują metody parametryczne i nieparametryczne, ostre, rozmyte i neuronowe. Rozkłady, które mogą być brane pod uwagę to: wykładniczy, Weibulla, normalny, lognormalny, gamma, potęgowy, Maxwella, Erlanga, Raleigha.

Procedury te znajdują zastosowanie zarówno w statystycznej kontroli procesów wytwarzania (SPC) jak i w adaptacyjnej kontroli i korektach parametrów recyklingu samochodów od projektowania (symulacja i integracja w CAD) poprzez recykling (symulacja i integracja w CAM, CAP) do kontroli jakości (CAQ) i serwisu (CAS) oraz zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego

recyklingu samochodów. System MRS jest systemem komputerowym otwartym, bazującym na technologii i organizacji zakładu, w którym ma być wdrożony. Jest oparty na sprawdzonych i wielokrotnie testowanych metodach i programach. Realizacja jest oparta na sieci PC dowolnego (a więc i zakładowego) typu. System MRS może być sprzęgnięty z dowolnego typu stacjami pomiarowymi parametrów jakości, pracującymi dla monitorowania procesu recyklingu samochodów. Szczegóły pokazane są w monografii autorów (3).



Rys. 4. Struktura przetwarzania w SEJNS dla MRS

Literatura

1. **Oprędkiewicz J., Stolarski B.:** Komputerowe monitorowanie niezawodności samochodów. PWN 2000.
2. **Oprędkiewicz J., Stolarski B.:** Recykling warunkiem bezpieczeństwa ekologicznego skutków eksploatacji pojazdów. Konferencja Jakość, bezpieczeństwo i ekologia pojazdów. Kraków 2001.
3. **Oprędkiewicz J., Stolarski B.:** Systemy recyklingu samochodów. PWN 2002 (w druku).

Krzysztof Pałka *

NIETYPOWE PRZYPADKI KOROZJI STALI AUSTENITYCZNYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono niestandardowe przypadki korozji stali austenitycznych. Stale te odporne są na korozję ogólną, jednakże w niektórych przypadkach dochodzi do powstawania tego typu zużycia korozyjnego. Przeanalizowano przypadki wystąpienia korozji ogólnej pod kątem przyczyn jej powstawania.

1. Wprowadzenie

Stale odporne na korozję nie podlegają korozji ogólnej. W niektórych przypadkach zastosowań przemysłowych dochodzić może do korozji lokalnej, a spośród jej rodzajów do najczęściej występujących należy korozja: wżerowa, szczelinowa i międzykrystaliczna. Do innych form miejscowego niszczenia struktury metalu należy korozja kontaktowa, naprężeniowa, zmęczeniowa i kawitacyjna [3,6,11].

Dodatek min. 13% chromu do stali zapewnia podwyższenie potencjału elektrochemicznego z $-0,6V$ na $+0,2V$ oraz tworzenie pasywnej warstewki tlenku chromu na powierzchni [6,11]. Wymienione czynniki są główną przyczyną odporności na korozję ogólną.

W szczególnych przypadkach dochodzi jednak do powstawania korozji ogólnej stali nierdzewnych w postaci rdzawego nalotu, charakterystycznego dla korozji stali węglowych.

* Katedra Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

2. Wymagania stawiane elementom ze stali austenitycznych

Elementy maszyn wykonywane ze stali odpornych na korozję (o strukturze austenitycznej), zarówno w przemyśle spożywczym, chemicznym, jak i w przypadku elementów wyposażenia zakładów gastronomicznych spełniać muszą wiele wymogów, do których należą w szczególności: brak wpływu na jakość przetwarzanych produktów, brak wrażliwości na środowisko pracy (odporność na korozję), łatwe mycie, brak miejsc umożliwiających gromadzenie produktów lub ich resztek [1,3]. Dwa pierwsze wymogi spełnione są poprzez prawidłowy dobór materiału, a pozostałe dwa wynikają z konstrukcji i technologii wykonania.

Połączenia spawane stali odpornych na korozję muszą być wykonywane przy użyciu stopiwa o wyższej zawartości chromu niż elementy łączone, natomiast ilość pozostałych składników powinna być identyczna jak w łączonych elementach (niebezpieczeństwo powstawania ogniw korozyjnych), przy czym niedopuszczalna jest porowatość spoin czy zażużenia [6,11,13]. Technologia spawania winna zapewnić niewielką strefę wpływu ciepła oraz ewentualne wykorzystanie materiału rodzimego jako stopiwa przy odpowiednim ukształtowaniu łączonych elementów. Parametry spawania winny być tak ustalone, aby nie dopuścić do nadmiernego przegrzania materiału, co wiąże się z niekorzystnymi zmianami w strukturze materiału. Po spawaniu zalecane jest młotkowanie spoin w celu ograniczenia możliwości powstawania korozji międzykrystalicznej. Spoiny, które będą miały kontakt z żywnością muszą być bezwzględnie zeszlifowane (i polerowane) do uzyskania łagodnych zaokrągłeń (spoiny pachwinowe) lub uzyskania płaskiej powierzchni (spoiny czołowe); chropowatość miejsc szlifowanych powinna być zbliżona do chropowatości pozostałych powierzchni [1,3,10].

Stale austenityczne grupy 18/8 wg PN-71/H-86020 powinny wykazywać odporność na działanie:

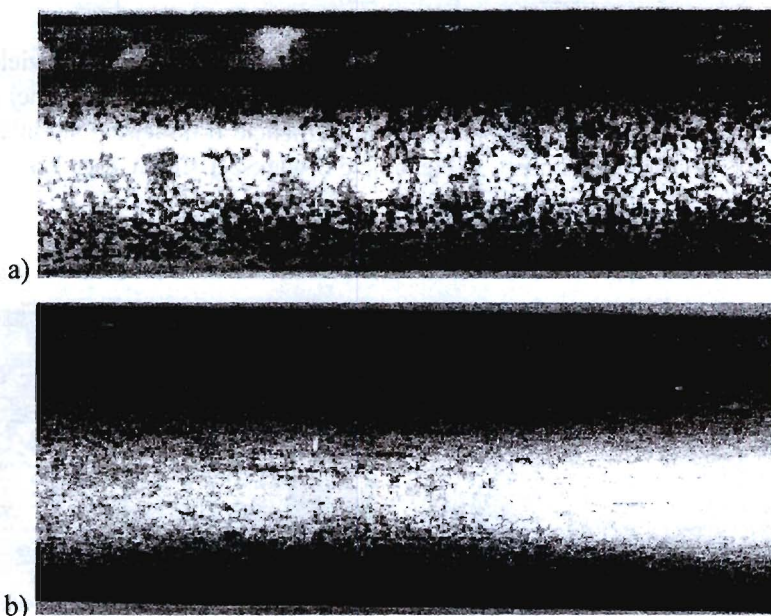
- korozji atmosferycznej,
- wód naturalnych (w tym wody morskiej),
- roztworów alkalicznych,
- kwasów nieorganicznych z wyjątkiem: HCl , H_2SO_4 , HF , mieszanin $\text{HCl}+\text{HNO}_3$, jodu, bromu i wilgotnego chloru,
- kwasów organicznych z wyjątkiem mrówkowego o stężeniu wyższym niż 5%,
- wrzącego kwasu mlekowego i gorącego kwasu szczawowego,
- roztworów soli z wyjątkiem stężonych roztworów chlorków, siarczanów, chloanów,
- produktów żywnościowych.

Pomimo spełnienia ww. wymagań technologicznych oraz prawidłowego doboru materiału spotykane są przypadki korozji ogólnej na stalach austenitycznych.

3. Przypadki korozji ogólnej stali austenitycznych

3.1. Elementy balustrady

Elementy balustrady w postaci rur ze stali odpornej na korozję uległy korozji lokalnej i ogólnej na znacznej części powierzchni (rys. 1). Produkty korozji, barwy rdzawo-brązowej, pokrywały powierzchnię punktowo, tworząc miejscami rozległe plamy. Atest oraz wykonane badania składu chemicznego wskazywały na stal gatunku 304L wg ASTM (tab.1). Polskie gatunki o zbliżonym składzie to 0H18N9 oraz 00H18N10 (PN-71/H-86020).



Rys. 1. Powierzchnia rur ze śladami korozji: a) rura $\varnothing$ 26,9x2, b) rura $\varnothing$ 48,3x3,2; skala 1:1

Oględziny makroskopowe pod niewielkim powiększeniem wykazały, że powierzchnia rur posiada liczne wżery i pory wynikające z technologii końcowej obróbki (rys. 1). Usunięcie warstwy wierzchniej o grubości około 0,1 mm dopro-

wadziło do uzyskania powierzchni bez wad, o zdecydowanie wyższej odporności na korozję, co potwierdziły przeprowadzone przyspieszone badania laboratoryjne, wykonane w komorze korozyjnej w 5% mgle solnej.

Tab. 1. Skład chemiczny badanych elementów

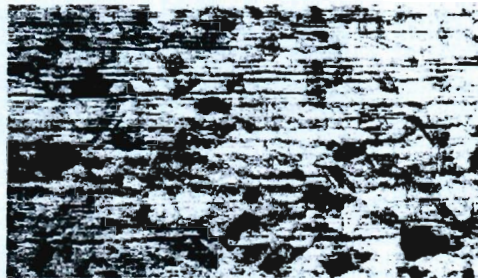
Pierwiastek	Zawartość w % wag.			
	Próbka 1 (Ø 26,9)	Próbka 2 (Ø 48,3)	0H18N9	00H18N10
C	0,037	0,031	max.0,07	max.0,03
Mn	1,52	1,58	max. 2,0	max. 2,0
Si	0,46	0,60	max. 0,8	max. 0,8
P	0,028	0,024	max. 0,045	max. 0,045
S	0,010	0,011	max. 0,030	max. 0,030
Cr	18,13	18,10	17,0-19,0	17,0-19,0
Ni	9,36	8,84	9,0-11,0	10,0-12,5
Ti	0,018	0,017	-	-
Cu	0,20	0,07	-	-

W obserwacjach mikrostrukturalnych stwierdzono pasmowość wydzielen, oraz częściowe odkształcenie ziarna zgodne z kierunkiem obróbki plastycznej (rys. 2). Struktura austenityczna jest gruboziarnista w elemencie o mniejszej średnicy (wielkość ziarna G3) i drobnoziarnista w elemencie o większej średnicy (wielkość ziarna G5).

a)



b)

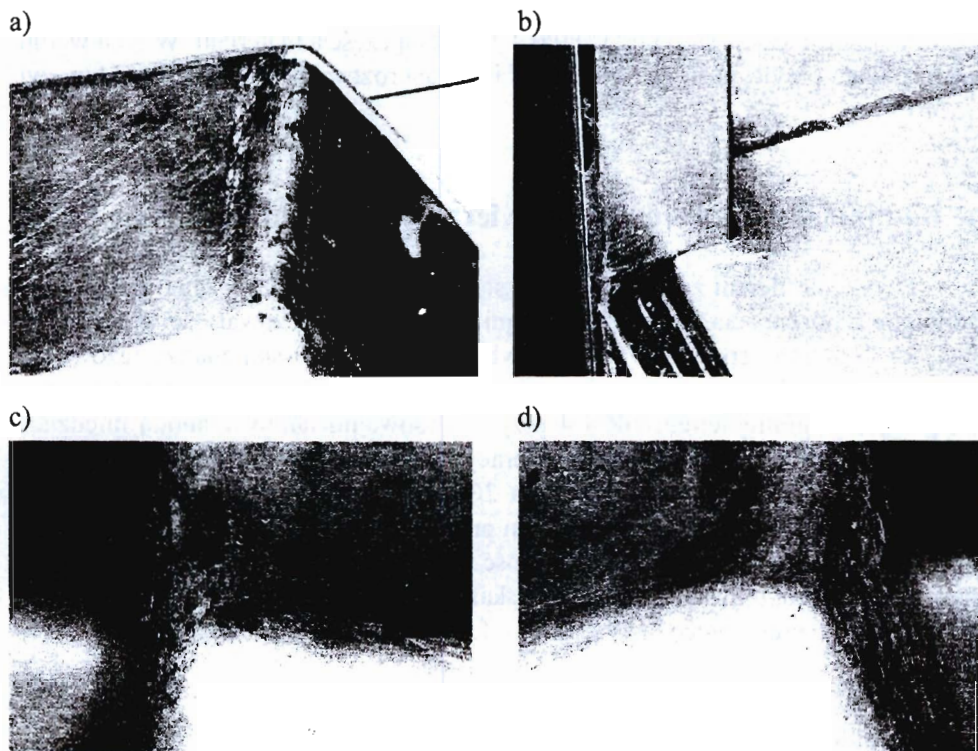


Rys. 2. Mikrostruktura rur balustrady, widoczne ziarno austenitu z bliźniakami i wtrącenia niemetaliczne: a) rura Ø26,9x2, b) rura Ø48,3x3,2; zglądy wzdłużne, pow. 100x, trawiono wodą królewską

3.2. Elementy wyposażenia gastronomicznego

Elementy wyposażenia lokalu gastronomicznego wykonane zostały na zamówienie i uwzględniały kształt i wymiary lokalu. Do ich wykonania zastosowano stal kwasoodporną gatunku 0H18N9 przy wykorzystaniu technologii spawania.

Po krótkim czasie eksploatacji elementy te pokryły się rdzawym nalotem, szczególnie w otoczeniu połączeń spawanych (rys. 3).



Rys. 3. Korozja wyposażenia gastronomicznego: a) nadstawka stołu roboczego, b) szafka przelotowa, c, d) wewnętrzne naroża zmywarki do naczyń.

Korozja występowała nie tylko w elementach mających bezpośredni kontakt ze środowiskiem wodnym, ale np. w szafach czy blatach roboczych. Korozja występuje w miejscach połączeń spawanych oraz w strefach bezpośrednio do nich przylegających. Z obserwacji wzrokowych stwierdzić można, że występuje korozja ogólna – w postaci rdzawego nalotu (nie występująca normalnie w stalach kwasoodpornych) oraz korozja wżerowa.

Prawdopodobną przyczyną powstawania rdzy na elementach ze stali kwasoodpornej są zmiany strukturalne w wyniku spawania. Procesy cieplne podczas spawania prowadzą do niekorzystnych zmian strukturalnych, a głównie do wiązania chromu w węgliki lub związki międzymetaliczne. W wyniku tych przemian zawartość chromu w spoinie i w strefie sąsiadującej spada poniżej granicznej war-

tości 13%, w efekcie w tych miejscach stal ma odporność korozyjną zbliżoną do odporności stali węglowej i możliwe jest tworzenie tlenków żelaza (rdzy). Powstaje ponadto ogniwo korozyjne z powodu znacznej różnicy potencjałów (ok. 0,6 V) pomiędzy spoiną (wraz z strefą przyległą) a pozostałą częścią materiału. W tych warunkach spoina i przyległa strefa są anodami i ulegają roztwarzaniu (niszczeniu korozyjnemu).

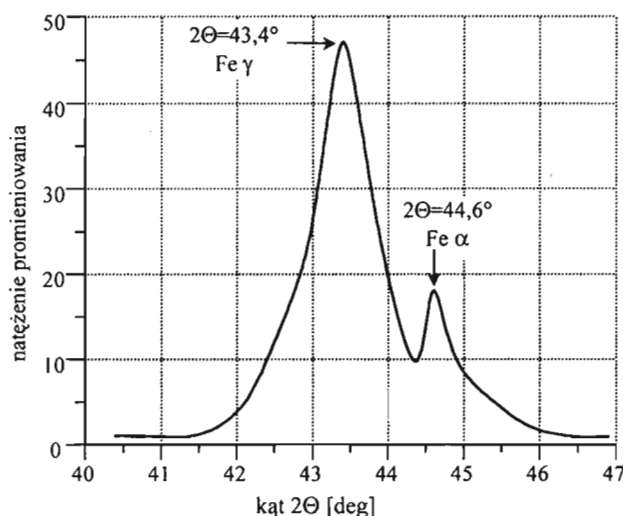
4. Badania składu fazowego powierzchni elementów

Tworzenie tlenku żelaza (rdzy) na stali austenitycznej związane jest **prawdopodobnie** z obecnością na jej powierzchni fazy α żelaza o zawartości chromu niższej niż 13%. Aby sprawdzić tą tezę wykonano rentgenowską analizę fazową powierzchni skorodowanych rur opisanych w §2.1. na dyfraktometrze rentgenowskim TUR M 60 z goniometrem HZG 4 przy zastosowaniu lampy z anodą miedzaną i filtrem niklowym, przy parametrach pracy lampy 40 kV, 35 mA. Rejestrację natężenia promieniowania w funkcji kąta 2θ **przeprowadzono** przy wykorzystaniu komputera PC. Otrzymany dyfraktogram **przedstawiono** na rys. 4.

Analiza fazowa potwierdziła obecność na powierzchni elementów fazy α żelaza. Jednocześnie struktura stali (rys.2) nie wskazywała na duże odkształcenie plastyczne, stąd wniosek o braku przemiany austenit – ferryt w wyniku odkształcenia.

5. Wnioski

1. Przyczyną powstawania rdzawego nalotu na stali austenitycznej była obecność fazy α żelaza o zawartości chromu mniejszej niż 13%. Przyczyną obecności tej fazy na powierzchni stali są niewłaściwie przeprowadzone procesy technologiczne – w omawianych przypadkach walcowanie (rury) lub spawanie.
2. Odporność na korozję stali austenitycznych zależy między innymi od stanu warstwy wierzchniej. Zdolność do samopasywacji i repasywacji zależy od gładkości powierzchni, jej czystości, stanu umocnienia oraz od czynników strukturalnych takich jak: obecność wydzieleni i ich segregacja, wielkość ziarna, ilość ferrytu lub martenzytu zgniotowego i in.
3. Obecność porów i wżerów w warstwie wierzchniej elementów sprzyja powstawaniu ognisk korozyjnych. Pozostałości pasty polerskiej lub środków trawiących w porach mogą dodatkowo inicjować korozję poprzez lokalne tworzenie agresywnego środowiska.



Rys. 4. Dyfraktogram rentgenowski powierzchni rur

4. Usunięcie warstwy wierzchniej materiału (grubość zdjętej warstwy ok. 0,1 mm) zawierającej fazę α umożliwia uzyskanie wymaganej odporności korozyjnej. W wykonanych testach korozyjnych uzyskano zadowalającą odporność na korozję na próbkach po szlifowaniu.

Literatura

1. **Awdiejewa A.:** Korozja w przemyśle spożywczym i jej zapobieganie. WNT, Warszawa 1975.
2. **Bachmacz W., Kolasiński Z., Werner K.:** Wytrzymałość korozyjno – zmęczeniowa w różnych środowiskach złączy spawanych i wpływ powłok antykorozyjnych. Ochrona przed korozją.
3. **Betts A. J., Boulton L. H.:** Corrosion of Stainless Steels in the Food Processing Industries. Corrosion Australasia, vol 18, No 5, pp. 6-8, 13-14, 1993.
4. **Blicharski M.:** Wstęp do inżynierii materiałowej. WNT, Warszawa 1999.
5. **Bond A.P., Lizlovs E. A.:** Anodic polarisation of Austenitic Stainless Steels in Chloride Media. J.Elektrochem.Soc., 115, 1130-1135, 1968.
6. **Colombier L., Hochmann J.:** Stale odporne na korozję i stale kwasoodporne. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1964.
7. Corrosion of Metals and Hydrogen Related Phenomena. Ed.: Flis J., PWN - Elsevier, Warszawa – Amsterdam 1991.

8. **Cullity B. D.:** Podstawy dyfrakcji promieni rentgenowskich. PWN, Warszawa 1964.
9. **Drozd W., Czyżowicz S., Folek K.:** Nowoczesne stale odporne na korozję stosowane w budowie aparatury chemicznej. *Ochrona Przed Korozją*, nr 8, 1980.
10. **Groman A., Lindner M., Piskorz J.:** Odporność korozyjna wybranych stali konstrukcyjnych oraz wybranych pokryw w najczęściej spotykanych mediach spożywczych. *Prace Instytutu Maszyn Spożywczych*, Warszawa, nr 1/1986.
11. **Leda H.:** Struktura a podatność korozyjna metali i stopów. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1978.
12. *Ochrona przed korozją. Poradnik.* WKiŁ, Warszawa 1986.
13. **Palka K., Surowska B., Weroński A.:** Structure Degradation of Austenitic Stainless Steels As Effect of Corrosion Fatigue. *Proc. Of 12th European Congr. On Electron Microscopy EUREM Brno, Czechy 2000.*
14. **Palka K., Weroński A., Kielbiński J.:** Studium czynników technicznych wpływających na zjawisko korozyjnego pękania płyt wymienników ciepła. *Inżynieria Materiałowa*, nr 5, 1998.
15. **Palka K., Weroński A.:** Korozyjne pękanie płyt ze stali austenitycznych. *Ochrona Przed Korozją* nr 1/1999.
16. **Palka K., Weroński A.:** Structure degradation of heat exchanger's stream plates as effect of corrosion fatigue. *Practical Metallography: Progress in Metallography*, vol. 32, 2001, s.309.
17. **Palka K., Weroński A.:** Wpływ zgniotu na strukturę i właściwości materiału płytowych wymienników ciepła dla przemysłu spożywczego. VIII KNT Budowa i Eksploatacja Maszyn Przemysłu Spożywczego, Sekcja Mechanizacji Przetwórstwa Spożywczego Komitetu Techniki Rolniczej PAN, Politechnika Białostocka, 1998.
18. **Prowans S.:** Struktura stopów. PWN, Warszawa 1991.
19. **Surowska B., Palka K., Bieniaś J., Poślednik G.:** Deformation Structure of Single-Phase Alloys. *Practical Metallography: Progress in Metallography*, vol. 32, 2001.

UNTYPICAL CASES OF CORROSION OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS

Abstract: In this paper were presented untypical cases of corrosion of austenitic stainless steels. These types of steels are resistant for general corrosion, but in some cases it can occurs. Reasons of general corrosion of stainless steels forming there also were described.

Krzysztof Pałka, Andrzej Weroński*

KONSTRUKCYJNE UWARUNKOWANIA PROCESU KOROZYJNEGO PĘKANIA PŁYT STRUMIENIOWYCH WYMIENNIKA CIEPŁA

Streszczenie: W pracy przedstawiono warunki eksploatacji płytowych wymienników ciepła – ciśnienia, temperatury oraz czynniki robocze. Przedstawiono analizę konstrukcji wymiennika (szczególnie strefę uszczelnienia) z opisem obciążeń płyty. Przeanalizowano dwa rodzaje konstrukcji płyt – z usztywnionym i swobodnym obrzeżem. Przedstawiono rozkład naprężeń pochodzących od momentu zginającego występujących w strefie uszczelnienia płyt. Wykazano, że przy wersji konstrukcyjnej z usztywnionymi obrzeżami płyt wartość maksymalna naprężeń jest ponad dwukrotnie wyższa w porównaniu do wersji z obrzeżami swobodnymi, co podwyższa prawdopodobieństwo wystąpienia pęknięcia korozyjnego.

1. Wprowadzenie

W produkcji wielu urządzeń przemysłowych, w przemyśle spożywczym, chemicznym itp., bardzo często stosowane są stale austenityczne gatunku 18/8. O ich zastosowaniu decydują dobre właściwości mechaniczne oraz dobra odporność na korozję w wielu środowiskach. Przykładem wykorzystania tego gatunku stali są płytowe wymienniki ciepła.

Obciążenia płytowych wymienników ciepła, spowodowane wahaniami ciśnienia czynników roboczych oraz warunki i środowisko korozyjne, w którym pracują, mogą powodować zużycie płyt objawiające się powstawaniem pęknięć w wytłoczeniu pod uszczelką [4,8]. W zależności od instalacji, w której pracuje wymiennik, ciśnienie czynnika może wynosić $0,25 \div 0,9$ MPa [8,9]. Obciążenia zmęczeniowe kumulujące się w okolicy uszczelki w połączeniu z czynnikiem ko-

* Katedra Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

rozyjnym mogą przyczynić się do pęknięcia płyt w miejscu uszczelnienia. Takie uszkodzenie określane jest jako pęknięcie korozyjne.

W celu intensyfikacji procesu wymiany ciepła od końca lat 80-tych zaczęto stosować płyty wykonane z blachy o grubości $0,6 \div 1,0$ mm w miejsce blach o grubości $1,2 \div 1,4$ mm. Efektem zmniejszenia grubości jest $40 \div 100\%$ wzrost intensywności procesu wymiany ciepła przy tych samych parametrach cieczy roboczych i tym samym kształcie powierzchni wymiany ciepła [8]. Pociąga to jednak za sobą obniżenie sztywności płyty oraz zmniejszenie wskaźnika wytrzymałości przekroju na zginanie. Takie konstrukcje wymagają stosowania niższych ciśnień roboczych oraz odpowiednich układów zasilania strony grzewczej, o małej amplitudzie ciśnienia. Ponadto zmniejszona sztywność płyty może wpływać na szczelność całego układu, dlatego też wykonuje się na obrzeżach płyt wytłoczenia, co w niektórych przypadkach powoduje usztywnienie pakietu płyt co zmienia sposób podparcia płyty i sposób jej obciążenia w sensie czysto mechanicznym [8,11], dając w efekcie wzrost wartości naprężeń w rejonie podparcia (uszczelki).

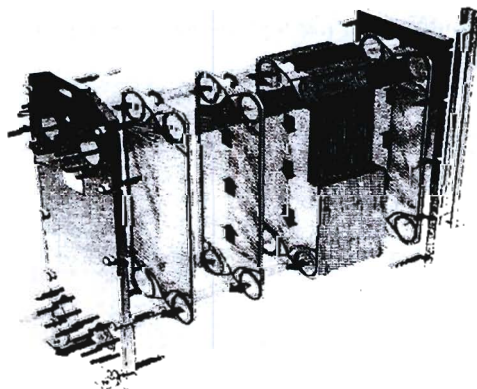
Celem opracowania jest przedstawienie obciążeń oraz analiza stanu naprężeń dwóch wariantów konstrukcyjnych płyt wymiennika ciepła w aspekcie zużywania i trwałości korozyjnej struktury stali 18/8.

2. Warunki eksploatacji płytowych wymienników ciepła

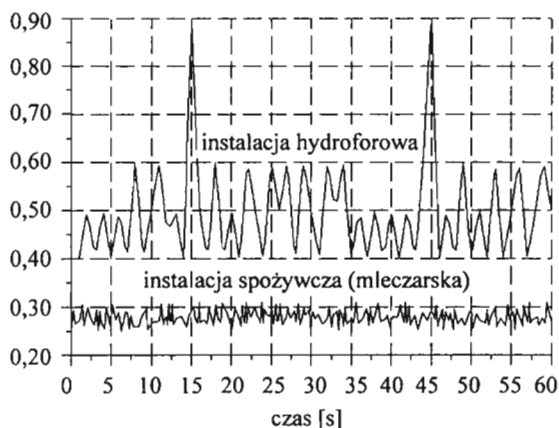
Płytowe wymienniki ciepła (rys. 1) stosowane są głównie w liniach technologicznych w przemyśle spożywczym oraz w instalacjach ciepłowniczych. Warunki pracy w tych instalacjach są różne. Szczególnie niebezpieczne dla wymienników warunki pracy występują w instalacjach ogrzewania wody. W tych przypadkach wahania ciśnienia są duże i osiągają wartość $0,4 \div 0,9$ MPa (rys. 2), a woda czerpana jest bezpośrednio z sieci wodociągowej. Woda taka zawiera znaczne ilości chlorków i siarczanów, które mają działanie agresywne. Agresywne środowisko i zmienne obciążenia mechaniczne sprzyjają występowaniu pęknięć po krótkim okresie czasu. Natomiast w instalacjach spożywczych (głównie przemysł mleczarski) wymiennik pracuje od kilku do kilkunastu godzin dziennie przy umiarkowanych obciążeniach (ciśnienie w zakresie $0,25 \div 0,32$ MPa – rys. 2) [8,11].

Wymienniki pracujące w instalacjach spożywczych przeznaczone są najczęściej do obróbki cieplnej produktów mlecznych (środowiska słabo kwasowe, temperatura do 120°C). Do mycia stosowane są roztwory alkaliczne – $0,5 \div 5\%$ NaOH, soda kalcynowana Na_2CO_3 (1%), soda krystaliczna ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10\text{H}_2\text{O}$), krzemiany, fosforany, polifosforany i inne; kwaśne – kwas azotowy HNO_3 (4%), kwas

cytrynowy $C_6H_8O_7$ (5%); temperatura sterylizacji wymiennika wynosi $120^{\circ}C$ [1,5,13]. Natomiast wymienniki ciepłownicze ogrzewają wodę wodociągową o zawartości $4 \div 150 \text{ mg/dm}^3$ chlorków [4], a zasilane są wodą temperaturze do $150^{\circ}C$. Mycie tych urządzeń przeprowadza się roztworami kwasu azotowego (4%) lub cytrynowego (5%), a następnie płucze roztworem NaOH (5%) [1, 5]. Wymienione środowiska i warunki sprzyjają rozwojowi korozji wżerowej, jak również przyczyniają się do powstawania korozji naprężeniowej i zmęczeniowej.



Rys. 1. Schemat płytowego wymiennika ciepła

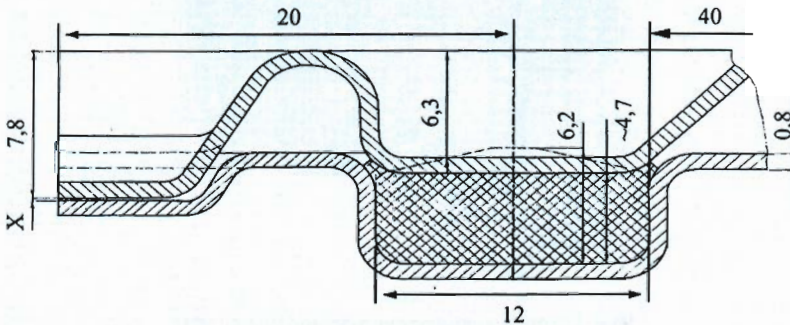


Rys. 2. Zmiany ciśnienia w wymienniku w zależności od typu instalacji

3. Zarys stanu naprężeń w zależności od konstrukcji wymiennika

Na rysunku 3 przedstawiono fragment przekroju poprzecznego wymiennika (dwie sąsiadujące płyty) w strefie uszczelnienia. Niewidoczną prawą część płyt stanowi powierzchnia wymiany ciepła. Ze względu na konstrukcję obrzeża płyt wyróżnić można dwie grupy wymienników płytowych, w których:

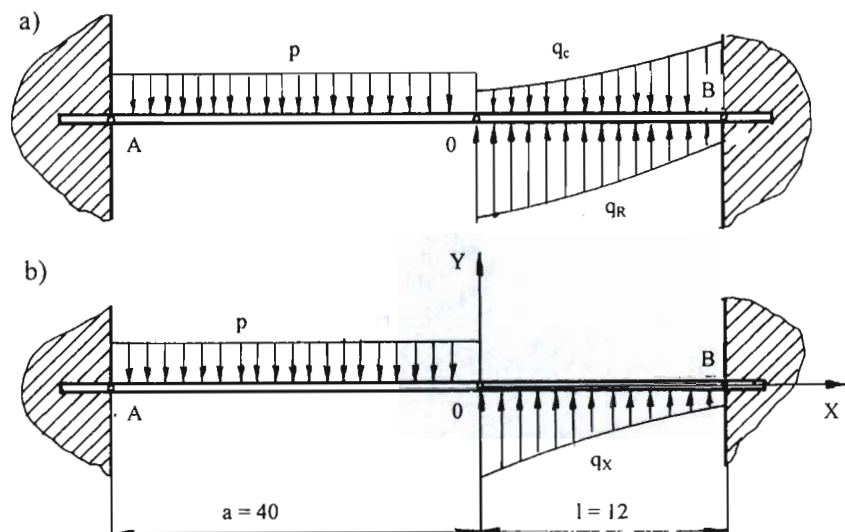
- obrzeża płyt po zmontowaniu stykają się ze sobą (na rys. 3 wymiar $X = 0$; wersja „U” – usztywniona);
- obrzeża płyt po zmontowaniu nie stykają się ze sobą (na rys. 3 wymiar $X \gg 0$; wersja „S” – swobodna).



Rys. 3. Wzajemne położenie płyt po zmontowaniu wymiennika

W wymiennikach z płytami w wersji „U” po zmontowaniu uzyskuje się całkowite usztywnienie obrzeża pakietu płyt (ściśle przyleganie wytłoczeń, brak możliwości wahadłowego ruchu obrzeża). Natomiast w przypadku płyt w wersji „S” brzegi są tylko lekko wywinięte, nie stykają się ze sobą, co usztywnia obrzeże pojedynczej płyty nie usztywniając jednocześnie całego pakietu, przy czym istnieje możliwość kątownego przemieszczenia obrzeża (ruch wahadłowy – oś obrotu jest uszczelka).

Do obliczeń przyjęto schemat obciążenia, przedstawiony na rys. 4 – płyta w wersji „U” – belka obustronnie utwierdzona (statycznie niewyznaczalna), identyczny schemat przyjęto dla płyty w wersji „S” uwalniając prawy koniec belki – punkt B (rys. 4), przyjmując wymiary dla płyty typu A [5]. Na schemacie użyte zostały następujące oznaczenia: q – obciążenie ciągłe wynikające z ciśnienia roboczego, q_x – obciążenie wynikające z działania siły docisku (doszczelnienie) oraz działania ciśnienia roboczego, q_c – obciążenie ciągłe czynne (docisk), q_R – oddziaływanie podłoża sprężystego (uszczelki); przy czym $q_x = q_R + q_c$.



Rys. 4. Schemat obciążeń przyłożonych do płyty w rejonie uszczelki: a) obciążenia rzeczywiste, b) obciążenia po redukcji (model zastępczy)

Do obliczeń przyjęto również następujące dane:

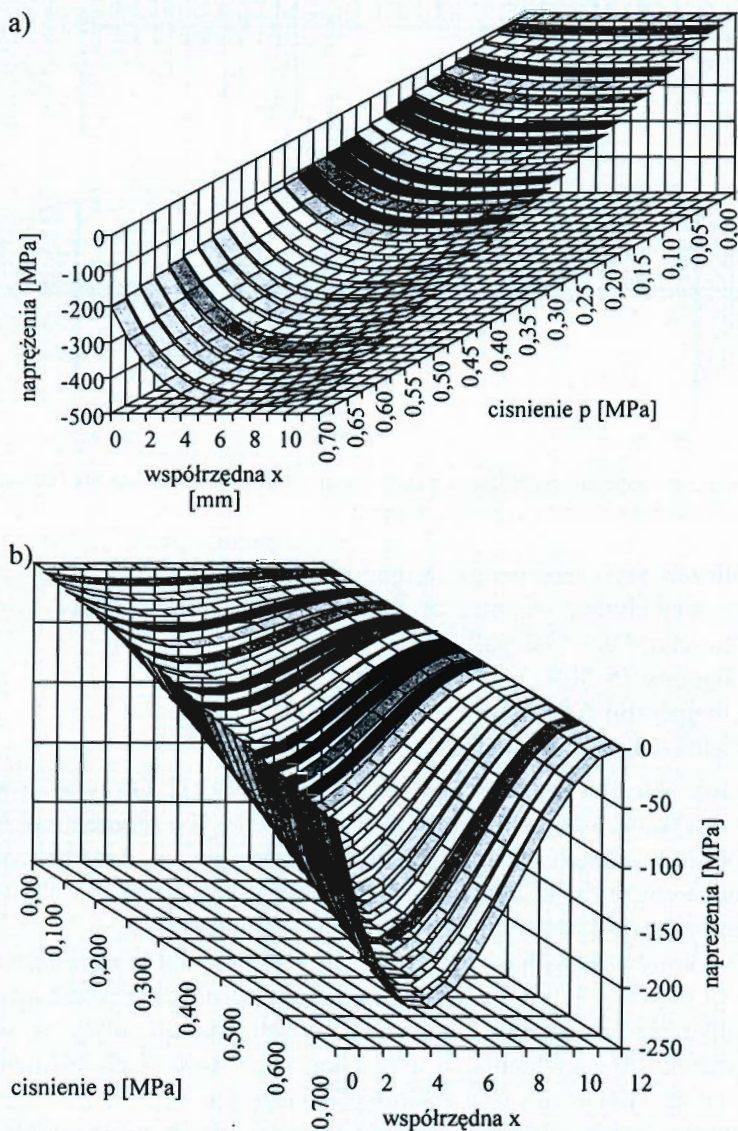
- ciśnienie wypadkowe (różnica ciśnienia po obu stronach płyty) $p = 0 \div 0,7$ N/mm², stąd $q = 0 \div 7$ N/mm
- twardość gumy 75°ShA
- różnica temperatur $\Delta T = 95$ K
- maksymalna temperatura pracy 120°C.

Pełny tok obliczeń zamieszczony został w pracy [11]. Otrzymane wyniki pozwoliły na uzyskanie rozkładu naprężeń odpowiadających momentom zginającym M_x dla obydwu wersji konstrukcyjnych płyt strumieniowych. Rozkłady naprężeń w miejscu podparcia płyty w funkcji ciśnienia wypadkowego p dla obydwu rozpatrywanych wariantów konstrukcyjnych zamieszczono na rys. 5.

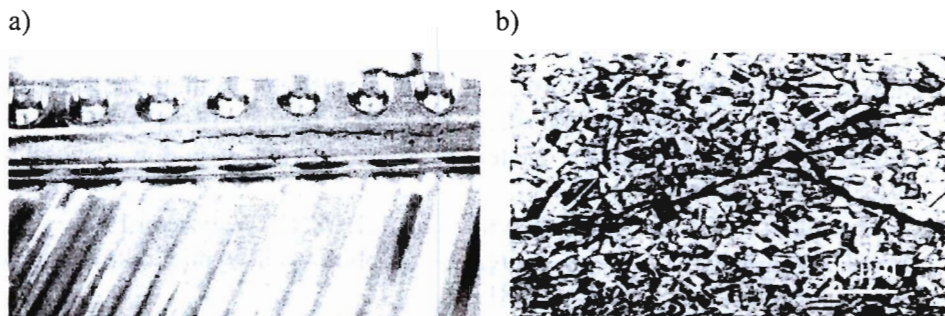
Płyty wykonywane są najczęściej ze stali 0H18N9, dla której $R_m = 620 \div 650$ MPa oraz $Re = 310 \div 350$ MPa. Z analizy rozkładu naprężeń przedstawionego na rys. 5 wynika, że maksymalne naprężenia występują dla płyty w wersji „U” w środku szerokości zagłębienia na uszczelkę, a ich wartość dla ciśnienia wypadkowego $p = 0,42$ MPa dorównuje granicy plastyczności.

Pęknięcie korozyjne zachodzi w przypadku istnienia stanu naprężeń ze składową rozciągającą [6,14]. Naprężenia powstające w rejonie uszczelnienia w połączeniu ze środowiskiem korozyjnym powodują powstawanie kruchych pęknięć w rejonie uszczelnienia płyt (rys. 6). Obraz uszkodzenia jest typowy dla korozji

naprężeniowej (kruche pęknięcie) oraz korozji zmęczeniowej (liczne drobne pęknięcia wokół miejsca zniszczenia) [6,14].



Rys. 5. Rozkład naprężeń pochodzących od zginania w miejscu podparcia (uszczelki) w funkcji ciśnienia wypadkowego p : a) wersja z usztywnionym obrzeżem „U”; b) wersja ze swobodnym obrzeżem „S”



Rys. 6. Uszkodzenie płyty strumieniowej w rejonie uszczelnienia: a) widok płyty, b) mikrostruktura z widocznym rozgałęzionym kruchym pęknięciem

4. Wnioski

Na podstawie analizy warunków eksploatacji oraz przebiegu zużycia korozyjnego i stanu naprężeń sformułowano następujące wnioski:

- 1) Analiza wariantów konstrukcyjnych płyt strumieniowych wykazuje, że usztywnienie obrzeża pakietu płyt powoduje zmianę sposobu zamocowania, a w związku z tym obciążenia płyty. Powstające w rejonie uszczelnienia naprężenia maksymalne są dla płyty w wersji „U” ponad 2-krotnie wyższe w stosunku do wersji „S”.
- 2) Wysoka wartość naprężenia pochodzącego od zginania daje duże prawdopodobieństwo wystąpienia pękania korozyjnego, zwłaszcza przy zmiennym cyklu obciążenia oraz wówczas, gdy występują ogniska początkujące takie pęknięcie (np. wżery spowodowane korozją lub rysy na powierzchni płyty). Wskazaniem jest przeprowadzanie analizy pracy linii technologicznych ze szczególnym uwzględnieniem pulsacji ciśnienia pod kątem zmniejszenia obciążeń dynamicznych płyt wymienników.
- 3) Istniejące w płytach naprężenia współdziałając ze środowiskiem, w którym pracuje wymiennik oraz warunkami temperaturowymi, przyczyniają się w sposób zasadniczy do powstawania korozji naprężeniowej i zmęczeniowej.
- 4) Członkostwo Polski w Unii Europejskiej w bliskiej perspektywie inicjuje konieczność dostosowania wyrobów do wymagań norm międzynarodowych odnośnie jakości, trwałości oraz energochłonności. Celowym jest więc prowadzenie dalszych badań, mających na celu określenie zakresu wpływu poszczególnych czynników na mechanizmy zużycia struktury płyt oraz opracowanie konstrukcji i technologii podwyższających trwałość płytowych wymienników ciepła.

Literatura

1. **Betts A. J., Boulton L. H.:** Corrosion of Stainless Steels in the Food Processing Industries. Corrosion Australasia, vol 18, No 5, pp. 6-8, 13-14, 1993.
2. **Ciszewski A., Radomski T.:** Materiały konstrukcyjne w budowie maszyn. PWN, Warszawa 1989.
3. **Dietrych M.:** Podstawy konstrukcji maszyn. T.1, WNT, Warszawa 1995.
4. **Drozd W., Folek K.:** Korozja naprężeniowa płytowych wymienników ciepła. Ochrona przed Korozją, nr 9,10/1981.
5. Katalogi firm Vicarb, Ciat, Alfa Laval, Swep, Spomasz Bełżyce
6. **Leda H.:** Struktura a podatność korozyjna metali i stopów. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1978.
7. **Niezgodziński M., Niezgodziński T.:** Wytrzymałość materiałów. PWN, Warszawa 1981.
8. **Pałka K.:** Studium procesów zużywania płyt strumieniowych w wymiennikach ciepła dla przemysłu spożywczego. Rozprawa doktorska pod kierunkiem A.Werońskiego. Politechnika Lubelska, 2000.
9. **Pałka K., Weroński A.:** Korozyjne pękanie płyt ze stali austenitycznych. Ochrona Przed Korozją nr 1/1999.
10. **Pałka K., Weroński A.:** Structure degradation of heat exchanger's stream plates as effect of corrosion fatigue. Practical Metallography: Progress in Metallography, vol. 32, 2001, s. 309.
11. **Pałka K., Weroński A., Kielbiński J.:** Studium czynników technicznych wpływających na zjawisko korozyjnego pękania płyt wymienników ciepła. Inżynieria Materiałowa, nr 5, 1998.
12. **Pękalak M., Radkowski S.:** Gumowe elementy sprężyste. PWN, Warszawa 1981.
13. **Popko H., Popko R.:** Maszyny przemysłu spożywczego. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej 1997.
14. Praca zbiorowa: Ochrona przed korozją. WKiŁ, Warszawa 1986.

CONSTRUCTIONAL CONDITIONS OF CORROSION CRACKING OF HEAT EXCHANGER'S STREAM PLATES

Abstract: In this paper was presented working conditions of plate heat exchangers - temperatures, pressures and medium types. The construction of plate heat exchangers, especially seal area and load description were presented. There were analysed two kinds of plates: with stiffen and free border of plate. In this paper on the base of the new theory of elastic support were also presented stress patterns for both kinds of plates. The maximum stress in seal groove in the stiffen type of plate was about twice higher than in the free type. That value of stress increases probability of stress corrosion cracking.

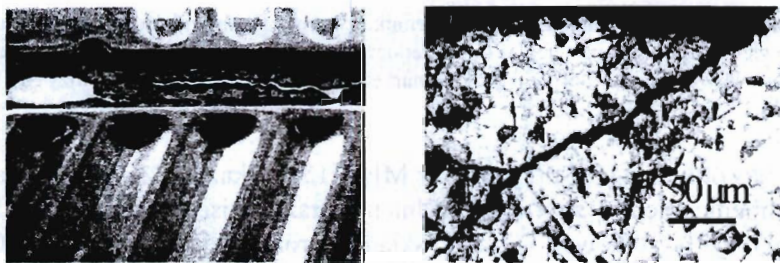
Krzysztof Pałka, Andrzej Weroński*

SKŁONNOŚĆ DO KOROZJI NAPRĘŻENIOWEJ PŁYT WYMIENNIKA CIEPŁA

Streszczenie: W pracy przedstawiono warunki eksploatacji płytowych wymienników ciepła. Przedstawiono analizę konstrukcji płyty wymiennika z opisem obciążeń i naprężeń. Przeanalizowano wyniki badań odporności na korozję naprężeniową oraz dokonano próby ich odniesienia do newralgicznych miejsc konstrukcji płyty.

1. Wprowadzenie

Obciążenia płytowych wymienników ciepła, spowodowane ciśnieniem czynników roboczych oraz warunki i środowisko korozyjne, w którym pracują [11÷16], mogą powodować zużycie płyt w wyniku procesów korozji wżerowej, naprężeniowej lub zmęczeniowej (rys. 1). W niniejszym opracowaniu zaprezentowano wyniki badań korozji naprężeniowej oraz dokonano próby ich odniesienia do newralgicznych miejsc w konstrukcji płyty strumieniowej.



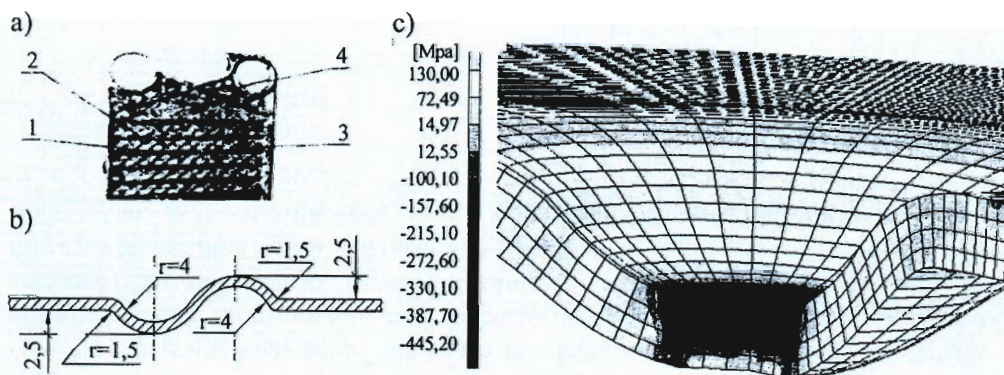
Rys. 1. Uszkodzenie płyty strumieniowej w rejonie uszczelnienia: a) widok płyty, b) mikrostruktura z widocznym rozgałęzionym kruchym pęknięciem

* Katedra Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

2. Zarys analizy naprężeń

W typowych zastosowaniach ciśnienie czynnika w wymienniku wynosić może $(0,25 \div 0,9)$ MPa, a kumulacja naprężeń występuje w rejonie uszczelnienia (zamocowania płyty) [11÷13]. W zależności od wersji konstrukcyjnej obrzeża płyty maksymalne naprężenia pochodzące od zginania wynosić mogą nawet 500 MPa przy różnicy ciśnień po obu stronach płyty wynoszącej 0,7 MPa [11÷13].

Proces technologiczny tłoczenia płyt również jest źródłem powstawania naprężeń w strukturze materiału (naprężenia własne) [11,15], które mogą inicjować procesy korozyjne. W miejscach dwustronnych kulistych przetłoczeń usztywniających (rys. 2) istnieje znaczny gradient naprężenia – od ściskających o wartości ok. 450 MPa do rozciągających o wartości ok. 130 MPa [11,15]



Rys. 2. a) Fragment płyty strumieniowej wymiennika z zaznaczonymi miejscami pękania korozyjnego, 1-3 powierzchnia wymiany ciepła, 4 – przetłoczenia usztywniające [5], b) schemat przetłoczeń kulistych przyjęty do analizy MES, c) rozkład naprężeń głównych uzyskany z analizy MES dla stali 0H18N9 [11,15]

Wyniki obliczeń [12] oraz analizy MES [15] wykazują, że naprężenia w płytach strumieniowych w strefie uszczelnienia oraz miejscach przetłoczeń usztywniających mają wysoką wartość, a ich składowa rozciągająca przekracza 100 MPa, co według wskazań literaturowych [6,9] jest wystarczające do zainicjowania korozji naprężeniowej.

3. Badania procesu korozji naprężeniowej

W celu określenia podatności płyt strumieniowych na korozję naprężeniową po procesie produkcji (tłoczeniu na zimno) wykonano próbki ze stali 0H18N9 w pięciu stopniach umocnienia, odpowiadających spotykanym na powierzchni całej płyty kontaktującej się z czynnikiem: 5% (stan dostawy, miejsca nie odkształcone), 10%, 15%, 20% i 30% (wytłoczenia).

W badaniach korozji naprężeniowej wykorzystano metodę powolnego rozciągania [1,8], umożliwiającą śledzenie procesu pękania korozyjnego przy zastosowaniu odkształcenia próbek z ustaloną szybkością (ok. $3 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$). Ponadto stanowisko to umożliwia wykonanie badań przy różnych warunkach temperaturowych, sprzężenie ze sobą wartości naprężenia i potencjału badanego elementu względem elektrody odniesienia. Pomiar siły rozciągającej, wydłużenia próbki oraz jej potencjału względem elektrody kalomelowej zrealizowano przy wykorzystaniu komputera PC. Jako próbki zastosowano płaskie blaszki, o wymiarach części roboczej $g \times h \times l$ równych odpowiednio 1, 15 i 20 mm.

Próbki wycięto z blach w stanie dostawy w kierunku wzdłużnym do kierunku walcowania, po przesycaniu (1050°C argon/woda) umacniano je zgniotem na zimno poprzez rozciąganie, następnie szlifowano do uzyskania chropowatości $R_a = 0,25 \text{ }\mu\text{m}$. Przed badaniem dokonywano pomiarów części roboczej próbki z dokładnością 0,01 mm, po czym płukano wodą destylowaną i odtłuszczano alkoholem. Po przygotowaniu próbki umieszczano w uchwycie urządzenia i zanurzano w naczyniu pomiarowym w roztworze korozyjnym. Środowiska i warunki badań korozji naprężeniowej wymieniono w tablicy 1.

Tab. 1. Środowiska i warunki badań korozji naprężeniowej

Środowisko	Temperatura	pH
Powietrze (śr. odniesienia)	20°C	-
kwas cytrynowy 5%	20°C	2,40
kwas cytrynowy 5% + jony Cl^-	20°C	1,81
cytrynian sodowy 5% + jony Cl^-	20°C	9,82

Do oceny odporności na korozję naprężeniową przyjęto następujące wskaźniki [1]:

1) RE – plastyczne wydłużenie materiału próbki

$$RE = \frac{E_e}{E_c} \quad (1)$$

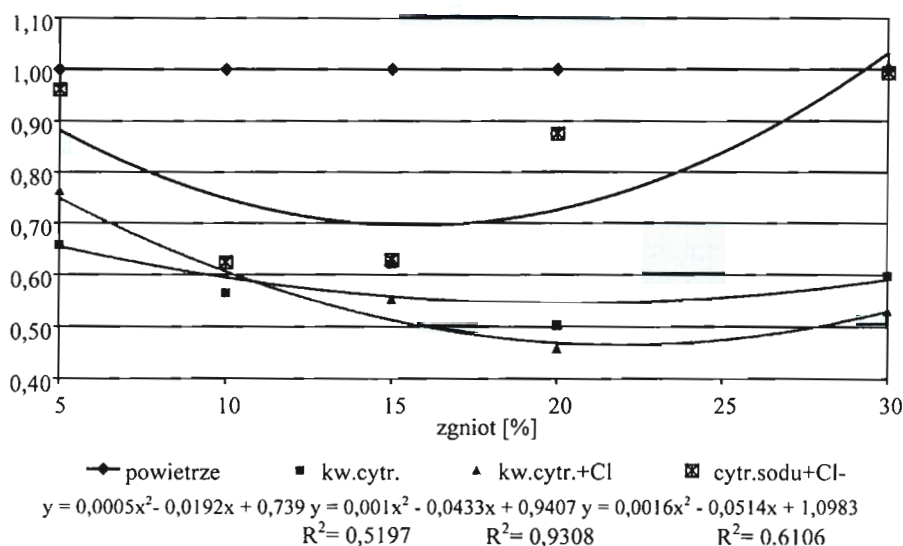
gdzie: E_e – wydłużenie plastyczne w środowisku korozyjnym, E_c – wydłużenie w środowisku odniesienia (powietrze);

2) RRA – przewężenie próbki w miejscu zerwania

$$RRA = \frac{RA_e}{RA_c} \quad (2)$$

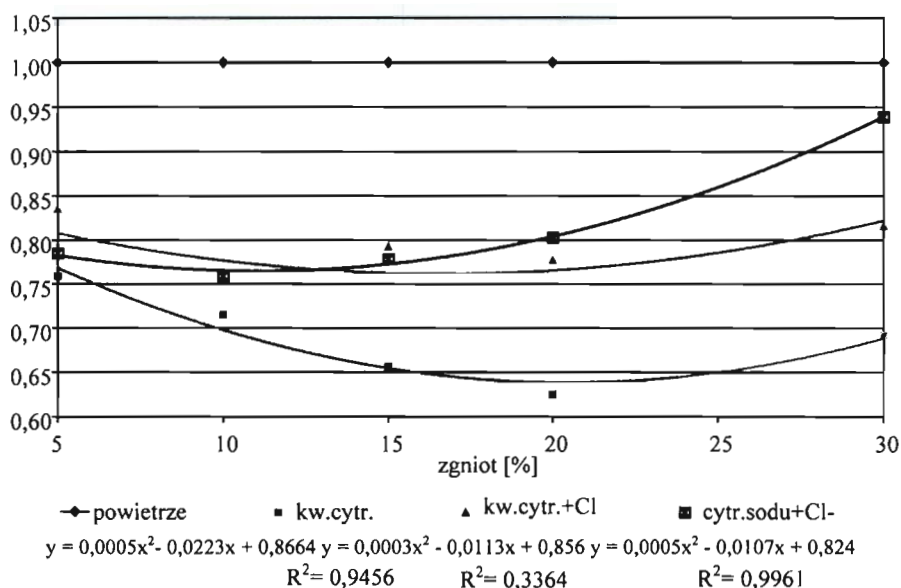
gdzie: RA_e – przewężenie próbki badanej w środowisku korozyjnym, RA_c – przewężenie próbki badanej w środowisku odniesienia (powietrze).

Wyniki badań w postaci wykresów wskaźników RE i RRA w funkcji stopnia zgniotu zamieszczono na rys. 3 i 4, zamieszczając jednocześnie równania regresji oraz współczynniki korelacji dla każdej krzywej. Do opisu krzywych regresji wykorzystano wyłącznie funkcje, które mają charakterystyczny kształt, pominięto wielomiany stopnia większego niż 3, chociaż współczynniki R^2 w tych przypadkach miały wyższe wartości.



Rys. 3. Wartości wskaźnika RE dla stali 0H18N9w w funkcji stopnia zgniotu

Wskaźniki RE oraz RRA wyznaczone dla badanej stali wskazują na istotny wpływ środowiska na jej korozyjne zachowanie. Największe obniżenie wydłużenia zaobserwowano przy zgniotach rzędu 20 ÷ 30% (nawet o 60%) w środowiskach kwasowych, natomiast w środowisku zasadowym minimum wydłużenia przypada dla zakresu zgniotu 5 ÷ 15%. Podobne zależności obserwuje się dla wskaźnika RRA .



Rys. 4. Wartości wskaźnika RRA dla stali 0H18N9w w funkcji stopnia zgniotu

We wszystkich przypadkach obserwuje się istnienie minimum wskaźników dla zgniotu 15 ÷ 20%. Poza wskaźnikiem *RE* dla środowisk kwaśnych wartości wskaźników dla zgniotu 30% są na zbliżonym poziomie do wartości początkowych (5% zgniot). Świadczy to o niekorzystnych właściwościach stali austenicznych poddanych niewielkim odkształceniom plastycznym. Jest to szczególnie niekorzystne w przypadku środowisk kwasowych, a szczególnie zawierających jony chlorkowe, gdzie wystąpiło obniżenie wartości wskaźników o ok. 60% (kruche pękanie – korozja naprężeniowa).

Takie zachowanie korozyjne stali 0H18N9 tłumaczyć można tym, że duży stopień deformacji (zgniot 30%) powoduje wystąpienie przemiany alotropowej austenit – ferryt, co jest źródłem powstawania struktury dwufazowej, odpornej na korozję naprężeniową [6,9]. Natomiast w zakresach mniejszych odkształceń plastycznych przemiana ta nie zachodzi.

Korzystnym jest zatem taki stopień odkształcenia, który wprowadza możliwie niski, bądź wysoki stan naprężeń własnych, prowadzący do wystąpienia przemiany alotropowej. Wskazane jest zatem przeprowadzenie obróbki cieplnej po odkształceniu plastycznym w zakresie 10 ÷ 20%, bądź też dogniatanie miejsc, w których występują wysokie naprężenia rozciągające (strefa uszczelnienia).

4. Wnioski

1. W miejscach przetłoczeń usztywniających istnieje duży gradient naprężeń własnych, na wierzchołku przetłoczenia występują naprężenia rozciągające o wartości ponad 100 MPa, natomiast w dnie przetłoczenia – naprężenia ścisiskające o wartości ponad 450 MPa. Składowa rozciągająca naprężeń w miejscach wytłoczeń inicjuje powstawanie korozji naprężeniowej ze względu na wartość tych naprężeń oraz istnienie gradientu naprężenia, powodującego głębokie zmiany strukturalne.
2. Zastosowane w badaniach środowiska korozyjne miały istotny wpływ na obniżenie właściwości plastycznych stali 0H18N9 – wskaźniki wydłużenia i prężenia miały wartości z zakresu $0,45 \div 0,90$.
3. We wszystkich przypadkach środowisk i stopni zgniotu obserwuje się istnienie minimum wskaźników dla odkształcenia plastycznego w zakresie $15 \div 20\%$. Poza wskaźnikiem RE dla środowisk kwaśnych wartości wskaźników dla zgniotu 30% są na zbliżonym poziomie do wartości początkowych (5% zgniot). Świadczy to o niekorzystnych właściwościach stali austenitycznych poddanych niewielkim odkształceniom plastycznym. Jest to szczególnie niekorzystne w przypadku środowisk kwasowych, a szczególnie zawierających jony chlorkowe, gdzie wystąpiło obniżenie wartości wskaźników o ok. 60%.
4. Korzystnym jest taki stopień odkształcenia, który wprowadza bądź możliwie niski, bądź wysoki stan naprężeń własnych, prowadzący do wystąpienia przemiany alotropowej austenit – ferryt. Wskazane jest przeprowadzenie obróbki cieplnej po odkształceniu plastycznym w zakresie zgniotu $10 \div 20\%$, bądź też dogniatanie miejsc, w których występują wysokie naprężenia rozciągające (np. strefa uszczelnienia).

Literatura

1. ASTM G 129 – 95 Slow Strain Rate Testing to Evaluate the Susceptibility of Metallic Materials to Environmentally Assisted Cracking.
2. **Awdiejewa A.:** Korozja w przemyśle spożywczym i jej zapobieganie. WNT, Warszawa 1975.
3. **Betts A. J., Boulton L. H.:** Corrosion of Stainless Steels in the Food Processing Industries. Corrosion Australasia, vol 18, No 5, pp. 6-8, 13-14, 1993.
4. Corrosion of Metals and Hydrogen Related Phenomena. Ed.: Flis J., PWN – Elsevier, Warszawa – Amsterdam 1991.

5. **Drozd W., Folek K.:** Korozja naprężeniowa płytowych wymienników ciepła. *Ochrona przed Korozją*, nr 9,10/1981.
6. **Flis J.:** Współzależność między korozją wżerową, szczelinową i korozyjnym pękaniem. *Ochrona Przed Korozją*, nr 12/1995.
7. **Groman A., Lindner M., Piskorz J.:** Odporność korozyjna wybranych stali konstrukcyjnych oraz wybranych pokryć w najczęściej spotykanych mediach spożywczych. *Prace Instytutu Maszyn Spożywczych*, Warszawa, nr 1/1986.
8. Kane R.D., Maldonado J. G.: Slow Strain Rate Tests as a Tool for Rapid Screening Of Environment Cracking of Stainless Steels. The 1st Global Internet Corrosion Conference InterCorr/96, <http://www.intercorr.com>.
9. **Leda H.:** Struktura a podatność korozyjna metali i stopów. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1978.
10. **Merino, P.; Novoa, X. R.; Sanchez, A.; Bouzada, F.:** Electrochemical evaluations of corrosion in plate heat exchangers of a dense bed precipitator. *Revista de Metalurgia (Madrid)* vol. 30 No 4, July-Aug. 1994.
11. **Pałka K.:** Studium procesów zużywania płyt strumieniowych w wymiennikach ciepła dla przemysłu spożywczego. Rozprawa doktorska pod kierunkiem A.Werońskiego. Politechnika Lubelska, 2000.
12. **Pałka K., Weroński A., Kielbiński J.:** Studium czynników technicznych wpływających na zjawisko korozyjnego pęknięcia płyt wymienników ciepła. *Inżynieria Materiałowa*, nr 5, 1998.
13. **Pałka K., Weroński A.:** Konstrukcyjne uwarunkowania korozyjnego pęknięcia płyt strumieniowych wymiennika ciepła. Materiały konferencyjne „II Międzynarodowe Seminarium i II Forum” Białystok – Białowieża 28-30.08.2002. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Seria Budowa i Eksploatacja Maszyn, 2002.
14. **Pałka K., Weroński A.:** Korozyjne pęknięcie płyt ze stali austenitycznych. *Ochrona przed Korozją*, nr 1/1999.
15. **Pałka K., Weroński A.:** MES jako metoda oceny skłonności do korozji naprężeniowej płytowych wymienników ciepła. IX KNT Budowa i Eksploatacja Maszyn Przemysłu Spożywczego, Sekcja Mechanizacji Przetwórstwa Spożywczego KTR PAN, Politechnika Opolska, Opole – Jarnołtówek 2000.
16. **Pałka K., Weroński A.:** Structure degradation of heat exchanger's stream plates as effect of corrosion fatigue. *Practical Metallography: Progress in Metallography*, vol. 32, 2001.
17. **Popko H., Popko R.:** Maszyny przemysłu spożywczego. Przemysł mleczarski. Wyd. Ucz. P.L. Lublin 1997.

18. Praca zbiorowa pod red. Z.Śmiałowskiej: Niektóre aktualne problemy chemicznego i mechano – chemicznego niszczenia metali. Wyd. Polskiej Akademii Nauk, 1975.
19. **Przybyłowicz K.:** Fizyczne podstawy odkształcenia plastycznego metali. Wyd. AGH, Kraków 1989.
20. Stress Corrosion Cracking and Hydrogen Embrittlement of Iron Base Metals (NACE-5) Eds.: Staehle R.W., Hochmann J., McCright R.D., Slater J.D., NACE, Houston 1977.

ANALYSIS OF SUSCEPTIBILITY TO STRESS CORROSION CRACKING OF HEAT EXCHANGER'S STREAM PLATES

Abstract: In this paper was presented working conditions of plate heat exchangers. The construction of plate heat exchangers with loads and stresses there were presented. Results of scc tests and its relations to significant places of plate also were described.



Kazimierz Peszyński*, Franciszek Siemieniako**

ANALIZA MATEMATYCZNA BILANSU MASOWEGO SUROWCA W PIECU OBROTOWYM

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę bilansu masowego surowca w piecu obrotowym. Piec rozdzielono na dwa obszary: obszar suszenia surowca i obszar ogrzewania. Wyprowadzono zlinearyzowane w obszarze roboczym równania określające podstawowe wielkości bilansu masowego: strumień masy w piecu oraz masę surowca przypadającą na jednostkę długości pieca.

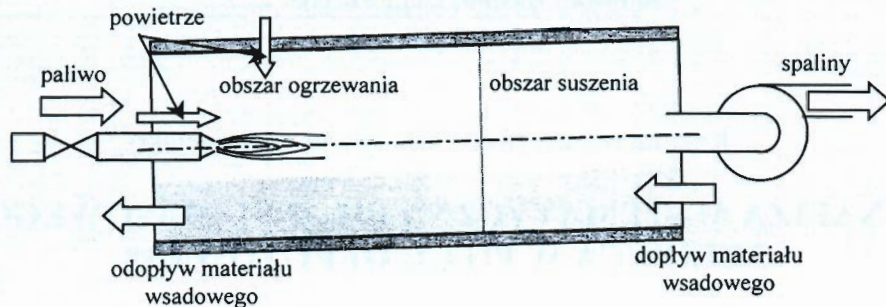
Słowa kluczowe: piec obrotowy, bilans masowy, obiekt z parametrami rozłożonymi.

1. Wprowadzenie

Piec obrotowy do suszenia i ogrzewania materiału wsadowego (ruda, wapień, kreda) jest obiektem o parametrach rozłożonych. Opis dynamiki tego układu prowadzi zawsze do równań różniczkowych cząstkowych kilku zmiennych niezależnych. W rozważanym obiekcie zmiennymi są: czas t i współrzędna odległości x . Opis obiektów za pomocą równań cząstkowych zazwyczaj znacznie komplikuje projektowanie układu regulacji automatycznej (URA). Określenie konkretnych kształtów funkcji w postaci warunków brzegowych, które w równaniach cząstkowych występują zamiast stałych, z punktu widzenia interpretacji fizycznej, jest trudne. Natomiast dla obiektów skomplikowanych, bez uproszczeń, często niemożliwe.

* Akademia Techniczno-Rolnicza – Katedra Sterowania i Konstrukcji, Wydział Mechaniczny, ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-791 Bydgoszcz

** Politechnika Białostocka, Katedra Technik Automatyzacji, Wydział Mechaniczny, ul. Wiejska 45a, 15-351 Białystok



Rys. 1. Schemat pieca obrotowego

Ogólne funkcje czasu i położenia, jako zmienne występujące w rozwiązaniach równań są, dla konkretnego rozwiązania i projektu układu regulacji automatycznej, jedynie bazą wyjściową dla dalszych trudnych i skomplikowanych obliczeń. Prowadzą one do kolejnych układów równań.

Rozwiązanie dynamiki pieca obrotowego jako obiektu regulacji, jest oprócz tego obciążone niedostateczną znajomością struktury wewnętrznej, która jest nieznaną nawet pod względem istnienia i rodzaju torów przekazywania informacji. Poznanie tej struktury na podstawie modelu matematycznego jest bardzo korzystne, mimo że z założenia dla obliczeń wielu wielkości przyjmowane są w określonym zakresie jako stałe (przybliżenie).

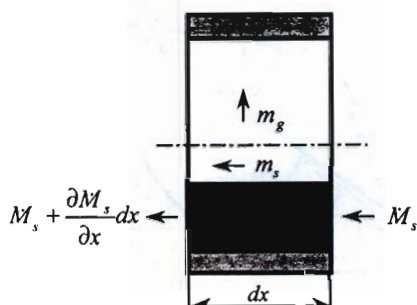
2. Bilans masowy

Analiza opisu pieca obrotowego prowadzona jest dla dwu obszarów: obszaru suszenia i obszaru ogrzewania materiału wsadowego. Nie uwzględniano strumienia masy w kierunku osi prostopadłej do osi pieca obrotowego ponieważ nachylenie osi jest małe (znacznie mniejsze od kąta zsyłu materiału ogrzewanego). Oznacza to, że ruch materiału wzdłuż osi jest następstwem zsuwania się cząsteczek surowca po płaszczyźnie nachylonej pod określonym kątem zsyłu.

Bilans masowy zostanie określony w obszarze suszenia dla elementarnego odcinka pieca o długości dx . Jeżeli oznaczymy jako m_s ilość surowca przypadającą na jednostkę długości pieca, a $\dot{M}_s$ jako masowy strumień przepływu surowca przez piec, to zmiana masy na elementarnym odcinku pieca wyniesie $\frac{\partial m_s}{\partial t} dx$.

Wynika z tego, że elementarny bilans masowy dopływu i odpływu surowca określo-

ny jest równaniem wyznaczającym zmianę masy m_s w czasie na elementarnym odcinku dx jako różnicę między dopływem $\dot{M}_s$ i odpływem $\dot{M}_s + \frac{\partial \dot{M}_s}{\partial x} dx$ (rys. 2).



Rys. 2. Odcinek pieca obrotowego o elementarnej długości

Zgodnie z rysunkiem 2 jest:

$$\frac{\partial m_s}{\partial t} dx = \dot{M}_s - \left(\dot{M}_s + \frac{\partial \dot{M}_s}{\partial x} dx \right) - \dot{m}_g \cdot dx \quad (1)$$

Po przekształceniach:

$$\frac{\partial m_s}{\partial t} = - \frac{\partial \dot{M}_s}{\partial x} - \dot{m}_g \quad (2)$$

Równanie (2) jest podstawowym równaniem odcinka suszenia w piecu.

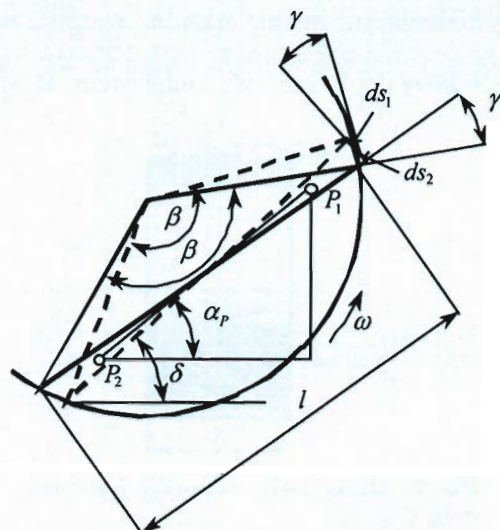
Dla przesunięcia surowca o masie m_s w piecu, można wyprowadzić potrzebne zależności w funkcji kąta zsypu δ . Jeżeli powierzchnia materiału osiągnęła podczas obrotu dokładnie kąt zsypu δ , surowiec zsuwa się i w określonym czasie przemieści się z górnej części do części dolnej o odcinek x , objętość elementarna dV .

Na podstawie rysunku 3 można napisać:

$$\dot{V}_z = \frac{dV_z}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{ds_1}{dt} \cdot x \quad (3)$$

Wobec powyższego strumień masy

$$\dot{M}_s = \frac{l}{4} \cdot \frac{ds_2}{dt} \cdot \rho_s \cdot x \quad (4)$$



Rys. 3. Podstawowe parametry geometryczne związane z ruchem surowca w piecu obrotowym

Na podstawie rysunku 3 z zależności geometrycznych można napisać

$$ds_1 = 2\pi R \cdot \omega \cdot dt \quad (5)$$

Cosinus kąta γ , można z pewnym przybliżeniem określić jako stosunek długości łuku ds_2 do długości łuku ds_1

$$\cos \gamma = \frac{ds_2}{ds_1} \quad (6)$$

Z wzorów (5) i (6) otrzymujemy

$$ds_2 = 2\pi R \cdot \omega \cdot dt \cdot \cos \gamma \quad (7)$$

Zgodnie z rysunkiem 3 można napisać $\cos \gamma = \frac{l}{2R}$, wówczas

$$\frac{ds_2}{dt} = \pi \cdot \omega \cdot l \quad (8)$$

Z równań (4) i (8) wynika

$$M_s = \frac{\pi}{4} \cdot l^2 \cdot \omega \cdot \rho_s \cdot x \quad (9)$$

Z równań (7) i (8) wynika

$$l = 2R \cdot \sin \frac{\beta}{2} \quad (10)$$

stąd

$$M_s = \pi \cdot \omega \cdot R^2 \cdot x \cdot \rho_s \cdot \sin^2 \frac{\beta}{2} \quad (11)$$

Długość odcinka x , o który przesunie się elementarna masa surowca podczas ruchu wynika z parametrów geometrycznych bryły. Przyjęto kształt klina o podstawie $x \cdot ds_2$ i wysokości $0,5l$ (rys. 2).

Stąd przybliżona zależność [1] na długości odcinka jest:

$$x = \frac{8}{3} \cdot R \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \frac{\sin \alpha_p \cdot \cos \varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_p \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (12)$$

Na podstawie rysunku 3 można napisać

$$\alpha_p = \delta - \arctg \frac{2 \cdot ds_2}{l} \quad (13)$$

Jeżeli z wzoru (8) wyznaczymy ds_2 i podstawimy do równania (13) otrzymamy

$$\alpha_p = \delta - \arctg(2\pi \cdot \omega \cdot dt) \quad (14)$$

Ponieważ α_p różni się od kąta δ o bardzo małą wartość, a więc jeżeli we wzorze (12) kąt α_p zastąpimy kątem δ popełnimy mały błąd.

$$x = \frac{8}{3} \cdot R \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \frac{\sin \delta \cdot \cos \varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \delta \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (15)$$

Zależność określająca przesuwanie się surowca o masie M_s w piecu obrotowym przyjmuje więc postać:

$$M_s = k_s \cdot \omega \cdot \rho_s \cdot \sin^3 \frac{\beta}{2} \quad (16)$$

gdzie stała k_s zależy od kąta zsypu, nachylenia osi pieca i jego promienia. Zgodnie z zależnością (12).

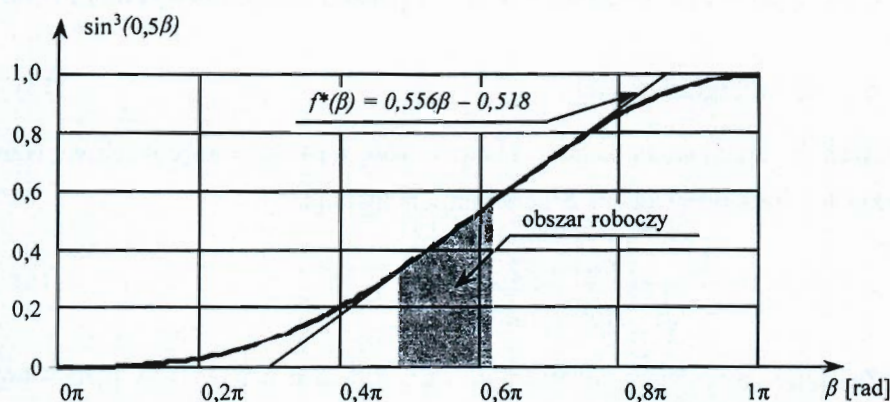
$$k_s = \frac{8}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \frac{\sin \delta \cdot \cos \varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \delta \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (17)$$

Ponieważ dla kąta nachylenia osi pieca do poziomu φ , w praktyce występującego w granicach $3^\circ \leq \varphi \leq 4^\circ$, ($0,052 \text{ rad} \leq \varphi \leq 0,070 \text{ rad}$), $\cos \varphi \rightarrow 1$ jak również $\sin^2 \varphi \cdot \sin^2 \delta \ll 1$, zależność (17) możemy zapisać w postaci uproszczonej:

$$k_s = \frac{8}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \sin \delta \quad (18)$$

Uproszczenie dla wyżej wymienionego zakresu występowania kąta φ nie spowoduje błędu większego niż 0,3%.

Ze wzoru (16) wynika, że M_s zależy w sposób liniowy od prędkości obrotowej pieca ω i masy właściwej surowca ρ_s oraz nieliniowy od stopnia wypełnienia pieca surowcem określony kątem β . Dla różnych wydajności i różnych typów konstrukcyjnych pieców kąt β może przyjmować wartości w granicach $85^\circ \leq \beta \leq 110^\circ$ ($1,484 \text{ rad} \leq \beta \leq 1,920 \text{ rad}$).



Rys. 4. Aproxymacja w obszarze roboczym funkcji $\sin^3(0,5\beta)$ linią prostą

Jak wynika z rysunku 4, krzywą zależności funkcjonalnej $f(\beta) = \sin^3(0,5\beta)$ można linearyzować w wyżej wymienionym zakresie wartości kąta β . Po prze-

przewodzeniu linearyzacji poprzez poprowadzenie prostej przechodzącej przez punkty krzywej na brzegach wymienionego zakresu otrzymamy równanie

$$f^*(\beta) = 0,556\beta - 0,518 \quad (19)$$

Wartość absolutna różnicy $\Delta = f(\beta) - f^*(\beta)$ nie przekracza wartości 0,04. Błąd względny jest mniejszy niż 1%.

Masa właściwa ρ_s jest liniową funkcją o postaci

$$\rho_s = k_1 \cdot x_s + k_2 \quad (20)$$

gdzie:

$k_1, k_2 [kgm^{-3}]$ – stałe.

$x_s [kgm^{-1}]$ – masa surowca przypadającego na 1m długości pieca.

Na jednym metrze długości pieca wyparuje z surowca ilość wody proporcjonalna do ilości ciepła parowania q_c , które przejdzie na tym odcinku do wsadu pieca. Obowiązuje więc zależność:

$$\dot{m}_g = \frac{q_c}{r} \quad (21)$$

Jednostkowe ciepło parowania r jest funkcją wilgotności i podczas procesu suszenia ulega zmianie. W prowadzonej analizie przyjęto wartość stałą jako średnią. Ilość fazy stałej (surowca) m_s określono na podstawie wymiarów geometrycznych; w danym przypadku chodzi o wycinek koła, czyli

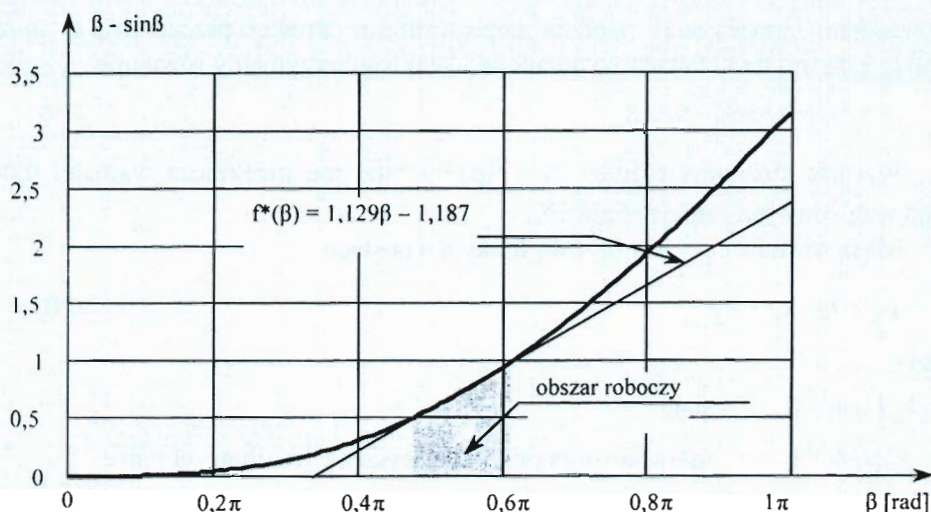
$$m_s = \frac{1}{2} R^2 (\beta - \sin \beta) \cdot \rho_s \quad (22)$$

Zależność $f(\beta) = \beta - \sin \beta$ ze względu na β da się, w okolicy punktu pracy pieca dla zakresu $1,484 \text{ rd} < \beta < 1,920 \text{ rd}$ dobrze linearyzować (rys. 5).

Równanie prostej aproksymującej, przechodzącej przez punkty na brzegach wymienionego wyżej zakresu β jest:

$$f^*(\beta) = 1,129\beta - 1,187 \quad (23)$$

Maksymalny błąd bezwzględny $|\Delta| = f(\beta) - f^*(\beta)$ występuje dla $\beta = 97,41^\circ = 1,578 \text{ rd}$ i wynosi $|\Delta| = 0,008$. Błąd względny nie przekracza wartości 1,37%.



Rys. 5. Aproksymacja w obszarze roboczym funkcji $\beta - \sin \beta$ linią prostą

Równania (16) i (22) określają wobec tego dwie podstawowe wielkości równia (2). Wyznaczenie wielkości $\dot{M}_s$ i m_s zezwala na obliczenie $\dot{m}_g$, czyli strumienia wody i niektórych ciał stałych przechodzących w fazę gazową. Wielkość $\dot{m}_g$ ma istotny wpływ na bilans masowy fazy gazowej. Należy podkreślić, że odciąg spalin przy pomocy wentylatora, jest jedną z dwóch podstawowych wielkości nastawianych w układzie regulacji pieca obrotowego wpływającą zasadniczo na stosunek ilości paliwa do zasysanego *pasywnie* powietrza.

Dla określenia zmniejszania się masy w wyniku parowania oprócz bilansu masowego należy również uwzględnić bilans energetyczny (cieplny). Dla elementarnego elementu na długości piec można napisać [2] równanie podobne do równania (2).

$$\frac{\partial I_s}{\partial t} = -\frac{\partial Q_s}{\partial x} + q_{kp} + q_{ks} - q_c \quad (24)$$

gdzie:

- $I_s [\text{J} \cdot \text{m}^{-1}]$ – jest entalpią surowca przypadającą na 1 m długości pieca,
- $Q_s [\text{W}]$ – strumień ciepła, który jest przemieszczany przez przesuwanie się surowca,
- $q_{kp} [\text{W} \cdot \text{m}^{-1}]$ – ciepło przekazywane do surowca poprzez konwekcję ze spalin,

$q_{ks} [W \cdot m^{-1}]$ – ciepło przekazywane do surowca poprzez konwekcję ze ściany

Równanie to zezwala na wyznaczenie ciepła q_c występującego w równaniu (21).

3. Bilans masowy w obszarze ogrzewania

Zupełnie podobnie jak na odcinku suszenia obowiązują równania dotyczące bilansu masowego w obszarze ogrzewania. Tutaj jednak, aż do wymaganej wysokiej temperatury wsadu (zazwyczaj około $1000^{\circ}C$), zmiany masy występują w wyniku przemiany fazy stałej w gazową. Masa gazów (spalin) jest praktycznie pomijalna. Badania laboratoryjne wykazały ubytek masy mniejszy 0,2%. Dlatego równanie analogiczne do równania (2) obowiązujące w pasie ogrzewania ma postać

$$\frac{\partial m_s}{\partial t} = - \frac{\partial \dot{M}_s}{\partial x} \quad (24)$$

Wielkości $\dot{M}_s$ i m_s zostaną określone na podstawie wcześniej wyprowadzonych równań (16) i (22). Przy tym w odróżnieniu od obszaru suszenia można przyjąć, że zsykowa masa właściwa surowca jest stała z względu na wyżej zamieszczoną uwagę dotyczącą zmian masy podczas ogrzewania.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z analizą własności dynamicznych wsadu w piecu obrotowym na odcinku suszenia. Dla uzyskania pełnego modelu własności dynamicznych należałoby sporządzić jeszcze: bilans cieplny surowca na obszarze suszenia, bilans cieplny fazy gazowej na obszarze suszenia, bilans cieplny wsadu w obszarze ogrzewania, bilans cieplny fazy gazowej w obszarze ogrzewania, bilans cieplny ściany pieca. Do tego należy dołączyć jeszcze analizę procesu spalania paliwa oraz wyprowadzania spalin.

Należy pamiętać, że analiza matematyczno-fizyczna, jeżeli chodzi o identyfikację obiektu, jest ważnym lecz jedynie przygotowawczym etapem nad projektem URA. Musi ona być zawsze uzupełniona o badania eksperymentalne.

Przeprowadzona w pracy analiza umożliwia wyznaczenie składowej fazy gazowej $\dot{m}_g$, która miesza się ze spalinami. Regulacja odciagu spalin z pieca, na

podstawie dotychczasowych doświadczeń, jest jednym z najbardziej efektywnych działań podczas automatyzacji procesu eksploatacji pieca obrotowego. Można stwierdzić, że cały szereg innych wielkości, które pozornie z przepływem fazy gazowej bezpośrednio nie są powiązane, ma równomierny przebieg. Te wnioski praktyków są natychmiast oczywiste jeżeli weźmiemy pod uwagę te wielkości w naszkicowanym matematycznym modelu pieca. Regulowany odciąg spalin ma przede wszystkim wpływ na wielkość konwekcyjnych strumieni ciepła [2], w których znika wpływ prędkości fazy gazowej na współczynniki przekazywania ciepła. Drugim ważnym elementem tego oddziaływania jest stabilizacja zasysania powietrza wtórnego. Ponieważ w naszym przypadku powietrze jest zazwyczaj zasysane pasywnie szczelinami w drzwiczkach pieca przy palniku, ewentualnie poprzez otwarte inne drzwiczki (otwory), a tylko zupełnie wyjątkowo jest dostarczane wentylatorami zmontowanymi na piecu, jego niezmiennosc pozytywnie wpływa na entalpię i stabilność temperatury spalin. W wyniku tego występuje również równomierność nie tylko strumieni przekazywanych na drodze konwekcji, ale również radiacyjnych (w paśmie ogrzewania) ze spalin do materiału wsadowego.

Literatura

1. **Závorka L.:** Matematický model nestacionárních stavů rotační cementářské pece. UTIA (Výzkumná zpráva). Praha 1978
2. **Peszyński K.:** Analiza matematyczno-fizyczna bilansu cieplnego pieca obrotowego, VI Seminarium „Postępy w konstrukcji i sterowaniu”, Bydgoszcz–Duszyniki 2002, ATR Bydgoszcz, materiały konferencyjne.

PHYSICAL-MATHEMATICAL ANALYSIS OF ROW MATERIAL IN ROTARY KILN

Abstract: In this paper dynamic properties analysis of the rotary kiln for the sake of his row material balance are presented. The kiln was divided into two zones: row material drying zone and row material heating zone. In working domain equations for basic relationships of material balance: row material flow in kiln and unitary amount of row material were determined.

Key words: rotary kiln, material balance, plant with distributed parameters

Marek Pilawski, Zbigniew Pabjan, Michał Ziętek*

TERMICZNA BEZODPADOWA I BEZKOMINOWA TECHNOLOGIA PRZETWARZANIA WSZELKICH ODPADÓW Z OZYSKIEM

Streszczenie: W temperaturze 1 570°C cała materia organiczna występuje w postaci dwuatomowych prostych związków chemicznych, zawierających głównie cząsteczki dwutlenku węgla i wodoru, zaś elementy ceramiczne występują w stanie stopionym. W tych warunkach proces recykling odpadów przebiega w sposób ekologiczny. W pracy podano konstrukcję reaktora ciekłometalicznego zapewniającego taką temperaturę pracy oraz opisano jego działanie w warunkach zgazowania odpadów z udziałem tlenu z wody („spalanie w wodzie”). W pracy wykazano także, że reaktor ciekłometaliczny jest dostępnym i najtańszym urządzeniem likwidacji wszelkich odpadów. Po absorpcji CO₂ z gazów poreakcyjnych i związania go do węglanów typu X₂CO₃ gazowym produktem reakcji jest tylko wodór, który spalany w ogniwie paliwowym jest źródłem energii elektrycznej i wody. Wodę zwraca się do procesu. W instalacji nie występuje komin.

1. Wprowadzenie

Poszukując efektywnych i ekologicznych technologii termicznej transformacji odpadów organicznych do postaci paliw przyjęto założenie, że powinna być to technologia uniwersalna, w której:

- temperatura procesu jest wyższa niż 850°C po to, aby dogłębnie przeprowadzić proces odgazowania i zgazowania materii organicznej odpadowej (duża grupa odpadów przemysłowych i prawie w całości odpady komunalne – poza gruzem, szkłem i metalami),
- temperatura procesu jest wyższa niż 850°C po to, aby móc przeprowadzić proces zgazowania węgla organicznego przy użyciu pary wodnej, czyli wytwarzać gaz wodny CO + H₂ wzbogacający energetycznie gaz syntezowy,

* Markon Co. ul. Łojewska 9 lok. 3, 05-392 Warszawa,

- temperatura procesu jest wyższa niż 1200°C po to, aby rozłożyć dioksyny i furany powstające w procesie termicznej obróbki odpadów,
- temperatura procesu jest wyższa niż 1400°C po to, aby ostatecznie rozłożyć trudno rozkładalne węglowodorowe związki o strukturze cyklicznej,
- temperatura procesu jest niższa niż 1600°C po to, aby uniemożliwić powstawanie węgla krzemu SiC niszczącego ceramiczną wymurówkę reaktora termicznego.

Warunki te spełnia reaktor ze złożem ciekłometalicznym w postaci ciekłego żelaza utrzymującego w przestrzeni reakcyjnej temperaturę 1500°C. Reaktor Ciekło – Metaliczny (reaktor RCM) to typowy piec indukcyjny przeznaczony do wytopu metali. W reaktorze tym przestrzeń pomiędzy powierzchnią stopionego metalu a kopułą pokrywy pieca tworzy przestrzeń reakcyjną, w której natężeniem lub częstotliwością prądów wirowych nastawia się pożądaną temperaturę procesu. Do przestrzeni reakcyjnej wprowadza się odpady.

2. Uzasadnienie wyboru technologii

- Możliwość uzyskania pożądanego temperatury procesu 1500°C
- Możliwość uzupełniania energii z zewnątrz potrzebnej do przeprowadzenia procesu termicznej transformacji odpadów do postaci paliw
- Możliwość regulacji temperatury procesu w szerokim przedziale temperatur niezależnie od wprowadzanych czynników utleniających (powietrze, tlen, para wodna, mieszanki powyższych)
- Dostęp do sprawdzonych technologii hutniczych i elektrotermicznych
- Niska prężność par żelaza w temperaturze procesu niewiele wyższej od temperatury jego topnienia
- Prostota konstrukcji, brak części ruchomych
- Możliwość rozkładu odpadowej materii organicznej (węglowodorów) do strumienia pierwotnych substancji prostych: tlenku węgla CO i wodoru H₂ należących do pierwotnych gazowych paliw ekologicznych. W przyjętej temperaturze procesu nie istnieją złożone toksyczne związki chemiczne. Dla przykładu można podać, że skład pierwiastkowy organicznych odpadów komunalnych: 55% C, 38% O, 6% H₂ i tylko 1% to tzw. inne (S, N, Cl)
- Możliwość dowolnego kształtowania środowiska reakcji w przestrzeni reakcyjnej, w której można wytwarzać próżnię, do której można wprowadzać powietrze, tlen, obojętny argon, a w szczególności parę wodną jako utleniacz pozbawiony azotu

- W temperaturze procesu występuje płynna szlaka zawierająca części ceramiczne, która poprzez szokowe schłodzenie może zostać zwitryfikowana, tworząc granulat bazaltopodobny, który nie jest już odpadem, tylko produktem.

3. Opis działania reaktora RCM

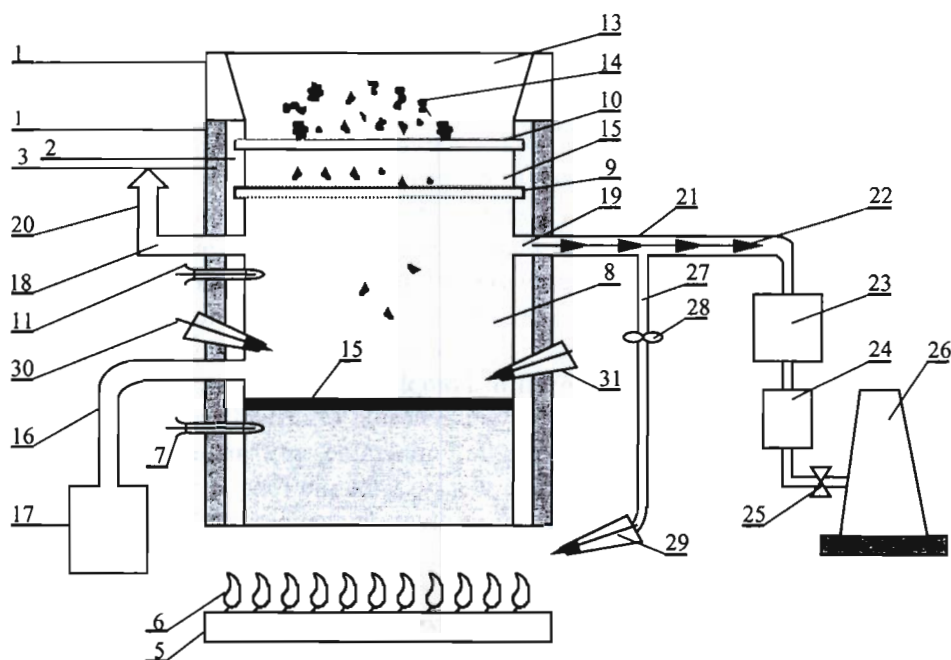
Reaktor składa się z metalowego lub ceramicznego zbiornika 1 typu „kadź” wyłożonego od wewnętrznej strony wymurówką ogniotrwałą 2, przy czym pomiędzy tą wymurówką 2 a wewnętrzną ścianą zbiornika 1 znajduje się materiał termoizolacyjny 3 chroniący zewnętrzne ściany zbiornika przed ogrzaniem do wysokich temperatur. Wnętrze zbiornika 1 wypełnione jest w części cieczą 4, którą najkorzystniej jest stopione żelazo. Ogrzewane jest ono elektrycznie (rys. 1). (Palniki zaznaczone na rysunku jedynie symbolizują kierunek przepływu energii). Temperaturę cieczy mierzy się za pomocą czujnika temperatury 7. Ponad powierzchnią cieczy znajduje się przestrzeń reakcyjna 8 ograniczona od góry ruchomą śluzą dolną 9 i umieszczoną ponad nią śluzą górną 10, przy czym temperaturę przestrzeni reakcyjnej mierzy się przy pomocy czujnika temperatury 11. Ponad śluzą górną 10 zbiornika 1 znajduje się lej zasypowy 12, do którego wnętrza 13 wprowadza się materię termicznie przekształconą 14, najczęściej odpady, które po uchyleniu śluzy górnej 10 opadają na powierzchnię ruchomej dolnej śluzy 9, po czym górna śluza 10 się zamyka, a dopiero kiedy się zamknie i uszczelni przestrzeń reakcyjną 8 od działania bezpośredniego powietrza atmosferycznego, to dopiero wtedy uchyla się dolna ruchoma śluza 9 przemieszczając tym samym materię (odpady) zgromadzone w przestrzeni międzyśluzowej 15 do przestrzeni reakcyjnej 8, w której opadając uzyskują bezpośredni kontakt z cieczą 4, której stała i pożądana temperatura utrzymywana jest poprzez działanie prądów wirowych i poprzez to, że pojemność cieplna cieczy 4 jest wielokrotnie większa od pojemności cieplnej nadawcy materii odpadowej 14, dzięki czemu proces termicznego przekształcania materii następuje w całej objętości przekształcanej materii 14 i w jednakowej temperaturze w warunkach praktycznie beztlenowych bez udziału poza kontrolą powietrza atmosferycznego. Beztlenowy proces termicznej transformacji materii 14 prowadzony dla odpadów, zwłaszcza odpadów komunalnych, niektórych przemysłowych i niebezpiecznych, prowadzi do powstania gazów pirolitycznych (pirolizy) z części organicznej (odpady biologiczne, tworzywa chemiczne) oraz węgla pierwiastkowego i materiałów ceramicznych tworzących w temperaturach około 1500°C płynną szlakę 15, która po przekroczeniu określonego poziomu przelewem 16 odprowadzana jest do urządzenia 17, gdzie poddana szokowemu schłodzeniu w wodzie

tworzy granulat bazaltopodobny, który nie jest już odpadem, a który należy do grupy kruszyw budowlanych i kruszyw dla drogownictwa.

Gaz pirolityczny, który jest gazem palnym, wypełniając przestrzeń reakcyjną 8, przedostaje się do otworów 18 i 19 zbiornika 1, przy czym przedostając się do otworu 18 wnika do awaryjnego komina zrzutowego 20, który otwiera się wypuszczając gazy do atmosfery tylko wtedy, kiedy ciśnienie gazów w przestrzeni reakcyjnej 8 wzrośnie ponad ustalony poziom, np. wtedy, kiedy gazy pirolityczne w przestrzeni reakcyjnej 8 uległyby niekontrolowanemu zapaleniu, przedostając się natomiast otworem 19 wnikają do rurociągu 21, w którym strumieniem 22 kierowane są do palników kotła 23, z którego po oddaniu energii kierowane są do stacji oczyszczania spalin 24, by następnie te spaliny wentylatorem wyciągowym skierować do komina 26. Część pirolitycznych gazów palnych strumieniem 27 przy pomocy wentylatora 28 dostarczana jest do palnika pomocniczego 29, który ma swój udział w wytwarzaniu strumienia ciepła 6. W przypadku pirolizy beztlenowej prowadzonej dla dużej grupy odpadów przedstawiony układ jest układem autoenergetycznym, tzn. ciepło unoszone przez spalany gaz pirolityczny pokrywa potrzeby ciepła procesowego i straty energii układu. Aby otrzymać naddatek energii ponad ciepło procesowe i móc produkować energię cieplną do sprzedaży lub innych celów technologicznych, należy spalić węgiel pierwiastkowy, który odkłada się w żużlu lub płynnej szlacie 15. Spalenia tego węgla można dokonać w różny sposób, a służą do tego dwa komplety dysz 30 i 31 umieszczone na obwodzie zbiornika 1 ponad lustrem cieczy 4. Komplet wielu dysz 30 ma swoje osie skierowane na lustro cieczy 4, na punkty położone w przybliżeniu w połowie odległości pomiędzy środkiem geometrycznym lustra cieczy 4, a obwodem lustra cieczy 4. Komplet tych dysz służy do wtłaczania powietrza lub tlenu potrzebnego do zgazowania węgla pierwiastkowego. Proces zgazowania węgla poprzez utlenianie jest procesem egzotermicznym i w przypadku utlenienia węgla do postaci dwutlenku węgla (spalanie) powoduje wzrost temperatury w przestrzeni reakcyjnej 8 i wzrost temperatury gazów, od których odbierane jest ciepło w kotle 23, w przypadku utleniania węgla do postaci tlenku węgla (zgazowanie, spalanie w niedomiarze tlenu) proces ten powoduje wzrost temperatury w przestrzeni reakcyjnej 8 i wzrost temperatury w kotle 23, w którym tlenek węgla dopala się do dwutlenku węgla. W przypadku całkowitego utlenienia węgla pierwiastkowego zawartego w żużlu lub szlacie 15, żużel ten lub szlaka zawierają tylko części mineralne i ewentualnie inne metaliczne zawarte w przekształconej materii.

Drugi komplet wielu dysz 31 ma swoje osie również skierowane na lustro cieczy 4, na punkty położone w przybliżeniu w połowie odległości pomiędzy środkiem geometrycznym lustra cieczy 4, a obwodem lustra cieczy 4. Komplet tych

dysz służy do wtłaczania wody lub pary wodnej potrzebnej do zgazowania węgla pierwiastkowego. W tym przypadku woda lub para wodna służą jako nośniki tlenu.



Rys. 1. Reaktor ciekłometaliczny (RCM)

Para wodna w temperaturach ponad 850°C w obecności węgla rozkłada się na tlen i wodór, przy czym tlen łączy się z węglem tworząc gazowy tlenek węgla, a mieszanina tlenku węgla i wodoru pierwiastkowego tworzy gaz palny zwany gazem wodnym. Mieszania gazów pirolitycznych i gazów powstałych w procesach spalania lub półspalania węgla lub/i gazu wodnego nosi nazwę gazu syntezowego, którego energia wykorzystywana jest na zewnątrz układu. W tym przypadku również żużel lub szlaka 15, po przejściu węgla pierwiastkowego do postaci gazowej, zawiera tylko części mineralne i ewentualnie metaliczne. Dwa komplety dysz 30 i 31 umożliwiają jednocześnie prowadzenie dwóch procesów: zgazowania węgla i regulację w ten sposób składu i temperatury gazu syntezowego niezależnie od temperatury procesu pirolizy utrzymywanej przy pomocy prądów wirowych. Wstrzyknięcie tylko wody lub pary wodnej dyszami 31 do przestrzeni reakcyjnej 8 wywołuje w obecności węgla pierwiastkowego endotermiczny proces rozkładu cząsteczek wody na atomy pierwiastków składowych, poprzez co następuje obni-

żenie temperatury w przestrzeni reakcyjnej 8, ale jednocześnie jednak wzrasta mimo obniżenia temperatury wartość opałowa gazu syntezowego, gdyż wzbogaca on się o palne składniki: tlenek węgla i wodór, a część tego wzbogaconego energetycznie gazu syntezowego strumieniem 27 przy pomocy wentylatora 28 kierowana jest do palnika pomocniczego 29, który zwiększa swój udział w wytwarzaniu strumienia ciepła 6.

Kierunek osi poobwodowo rozmieszczonych kompletów dysz 30 i 31 zapewnia powstanie wirów wstrzykiwanych mediów, które po reakcji z węglem organicznym żużla lub szlaki 15, ruchem spiralnym unoszą się ku górze, dzięki czemu znacznie wydłuża się droga i czas reakcji, czyli czas przebywania w przestrzeni reakcyjnej, co dalej skutkuje zmniejszeniem ilości toksycznych tlenków azotu, w przypadku, gdy wstrzykiwanym medium jest powietrze atmosferyczne.

W przypadku stosowania cieczy 4 w postaci roztopionego żelaza bądź cynku lub ołowiu lub ich stopów lub innych niskotopliwych a wysokoparujących metali lub stopów, procesowi termicznego przekształcania utylizacji termicznej poddają się wszystkie znane substancje organiczne i mineralne, gdyż mają one ciężar właściwy mniejszy od ciężaru właściwego cieczy, więc nie toną w niej, a utrzymują się na jej powierzchni poddając się tym samym działaniom mediów wstrzykiwanych za pomocą kompletów dysz 30 i 31. Na powierzchnię cieczy 4 można wprowadzić także sorbenty siarki, dzięki czemu przejdzie ona do związków stałych: siarczków i siarczanów i będzie usunięta z gazu syntezowego.

4. Cechy reaktorów RCM

1. Zaletą przedstawionych reaktorów RCM jest to, że do reakcji wprowadzony jest czynnik pośredni – ciecz, najkorzystniej stopiony metal – żelazo – o dużym ciężarze właściwym, o odpowiednio dobranej temperaturze topnienia i o wysokiej temperaturze parowania, dzięki czemu:
 - 1.1 przestrzeń reakcyjna została oddzielona od bezpośredniego oddziaływania strumienia ciepła
 - 1.2 temperaturę reakcji w przestrzeni reakcyjnej można nastawić niezależnie od ilości, sposobu i rodzaju gazów lub cieczy wprowadzanych do przestrzeni reakcyjnej
 - 1.3 proces przemiany materii, zwłaszcza utylizacji odpadów, można prowadzić w szerokim przedziale temperatur, np. w przypadku użycia cyny w przedziale od 232 °C do 2 270 °C

- 1.4 proces przemiany (transformacji) materii, zwłaszcza odpadów, można prowadzić w dowolnie kształtowanych warunkach: tlenowych, beztlenowych, powietrznych, wodnych, itd. w jednym układzie, stosownie np. do rodzaju przekształcanego materiału
 - 1.5 łatwo jest utrzymać pożądaną temperaturę dzięki dużej pojemności cieplnej cieczy, dzięki łatwej do zautomatyzowania pracy cewki wzbudzającej prądy wirowe w cieczy oraz sterowanym dowolnie kształtowanych warunkach tlenowych, beztlenowych, powietrznych, wodnych procesów egzo- i endotermicznym w przestrzeni reakcyjnej
 - 1.6 urządzenie może pracować zarówno z katalizatorem, jak i bez katalizatora
 - 1.7 w urządzeniu, w przeciwieństwie do innych znanych rozwiązań, żużel, szlaka, części smoliste nie przedostają się do produktów przemiany i mogą zostać zutylizowane w urządzeniu i potem z niego usunięte.
2. Urządzenie umożliwia termiczną obróbkę przedmiotów wielkogabarytowych, np. całych wraków samochodowych – bez rozbierania ich na części i osuszania.
 3. Poza okresowo przesuwanymi śluzami – w urządzeniu nie ma części ruchomych.
 4. W urządzeniu nie występuje konieczność uszczelniania elementów wzajemnie ruchomych przez cały czas trwania procesu, jak np. w piecach obrotowych.
 5. Elementy wymagające uszczelnienia, takie jak śluzy, pracują tylko sporadycznie, przez okres załadunku, a nie w sposób ciągły, przez co zwiększa się w sposób istotny trwałość całego urządzenia i uszczelnień.
 6. Dzięki użytym materiałom, dzięki sposobowi prowadzenia procesu termicznej przemiany materii, dzięki objętości przestrzeni reakcyjnej porównywalnej z objętością cieczy - gradienty temperatury w tej przestrzeni reakcyjnej są bardzo małe, dzięki czemu z kolei proces termiczny zachodzi w stałej temperaturze, w całej objętości wprowadzonego materiału jednocześnie. Promieniująca w tych temperaturach wymurówka ceramiczna zwiększa sprawność przekazywania ciepła do wprowadzanych odpadów.
 7. Urządzenie jest uniwersalne i można w nim utylizować naprzemiennie wraki samochodów, odpady komunalne, odpady przemysłowe, odpady szpitalne, pestycydy, ropopochodne i osady porafinacyjne, odpady polakiernicze, które normalnie spalają się wybuchowo, osady ściekowe, popioły, stłuczkę szklaną oraz odpady chemiczne specjalne wojskowe wymagające do rozkładu (utylizacji) wysokich temperatur.
 8. Dzięki wysokim temperaturom możliwym do osiągnięcia w przestrzeni reakcyjnej, nawet w przypadku termicznej utylizacji niskokalorycznych odpadów,

nie występuje konieczność dodatkowego podgrzewania spalin w termokatalitycznych stacjach oczyszczania spalin, do temperatury wymaganej przez katalizatory, co znacznie potania koszty budowy takich stacji jak i ich późniejszej eksploatacji.

9. Dzięki wysokim temperaturom możliwym do osiągnięcia w przestrzeni reakcyjnej, nawet w przypadku termicznej utylizacji odpadów niskokalorycznych, powstający gaz syntezowy zawiera węglowodory zredukowane do tlenku węgla i wodoru, pozbawiony węglowodorów złożonych (organicznych) dzięki czemu, w większości przypadków nie jest konieczna budowa stacji oczyszczania spalin w ogóle.
10. Urządzenie można wykorzystać do utylizacji odpadów wcześniej nagromadzonych, np. na komunalnych wysypiskach śmieci.
11. Dwoma kompletami dysz 30 i 31 można jednocześnie wtłaczać w temperaturach ponad 850°C powietrze i parę wodną w określonych proporcjach takich, że endotermiczny proces rozkładu cząsteczek wody na tlen i wodór energetycznie równoważy egzotermiczny proces zgazowania węgla 15 do postaci tlenku węgla, dzięki czemu można w przestrzeni reakcyjnej 8 uzyskać stałą temperaturę pomimo zachodzących w niej procesów.
12. Dzięki korzystnie dużemu ciężarowi właściwemu cieczy 4 i jej wysokiej temperaturze pracy kumuluje ona korzystnie dużą ilość energii cieplnej, dzięki temu nawet niewielka przestrzeń reakcyjna 8 może zapewnić korzystnie dużą wydajność urządzenia, wielokrotnie większą od wydajności innych urządzeń o zbliżonych wymiarach.
13. W odróżnieniu od reaktora plazmowego urządzenie ma w przestrzeni reakcyjnej równomierne pole temperatur i nie wymaga użycia skomplikowanego zasilacza prądowo-napięciowego, co najwyżej zasilacza elektrycznego wzbudzającego prądy wirowe potrzebne do stopienia metalu.
14. Do procesu termicznej utylizacji odpadów można stosować mieszanke parowo-tlenową w fazie zgazowania i czysty tlen w fazie dopalania gazów syntezowych, co w efekcie powoduje wielokrotne zmniejszenie ilości spalin z ograniczoną ilością tlenków azotu. Instalacje czystego tlenu występują w hutach.
15. W przypadku zgazowania odpadów komunalnych w atmosferze czystego tlenu uzyskuje się gaz syntezowy złożony głównie z wodoru i dwutlenku węgla.
16. Ciekłometaliczne złoże żelazne rozpuszcza aluminium, miedź i ołów, dzięki czemu zatrzymuje w sobie pierwiastki metali ciężkich i nie przedostają się one do atmosfery.
17. Płynna szlaka utrzymująca się na powierzchni złoża ciekłometalicznego ogranicza parowanie metali w ogóle.

18. W reaktorze ciekłometalicznym w temperaturze 1570°C wykonano proces zgazowania i chemicznego utleniania odpadów (różne grupy tworzyw sztucznych) wymieszanych w równych częściach wagowych z wodą. W temperaturze procesu cząsteczki wody uległy dysocjacji na tlen i wodór ($O + H_2$), przy czym tlen brał udział w chemicznym utlenieniu węgla organicznego.
19. Proces „spalania w wodzie” odbywał się bez udziału tlenu atmosferycznego, a więc bez udziału azotu. W czasie wprowadzania odpadów do reaktora dostawała się również do niego pewna ilość powietrza i w związku z tym – azotu. W tym przypadku nadmiarowy, niespalony wodór, wykazując silne własności redukcyjne, redukuje tlenki azotu do postaci azotu i pary wodnej, zgodnie z reakcją: $2H_2 + NO_2 \rightarrow 2H_2O + N$
20. Stosunkowo czysty i wysokotemperaturowy gaz syntezowy – gazowe paliwo ekologiczne otrzymane z odpadów – może być w przyszłości wykorzystane do zasilania ogniw paliwowych wodorowych lub ogniw paliwowych pracujących na gaz syntezowy.
21. Złoże ciekłometaliczne o masie 1t wymaga użycia energii elektrycznej o mocy 24 kW do utrzymania go w stanie ciekłym. Na takim złożu można prowadzić proces utylizacji odpadów z wydajnością minimalną 125 kg/h. Przyjmując skrajnie niską wartość opałową odpadów 2 kWh/kg otrzymujemy energię na wyjściu układu równą 250 kWh/h. Jeśli ze strumienia energii wyjściowej wydzielimy strumień energii o mocy 100 kWh/h i będzie on służył do zasilania agregatów prądotwórczych wyposażonych w silniki gazowe o sprawności 24%, to otrzymamy z tych silników moc elektryczną 24 kW potrzebną do utrzymania układu w stanie pracy.
W ten sposób może być realizowana idea „odpady pracują na odpady”.
22. Z ogólnego strumienia energii 250 kWh/h do sprzedaży można przeznaczyć 150 kWh/h. Przy cenie sprzedaży jednostki energii 100 zł/1MWh otrzymuje się przychody z tej sprzedaży w wysokości 15 zł/h. Za przyjęcie odpadów niebezpiecznych i przemysłowych do utylizacji można przyjąć zapłatę 2 zł/kg. W związku z tym spodziewane przychody z tego tytułu szacuje się na 250 zł/h. Przy pracy rocznej urządzenia przez 4000 h łączne przychody kształtują się na poziomie powyżej 1mln zł. Stanowisko RCM ze złożem 1t kosztuje 0,4 mln zł.
23. Użycie wody do procesu rozcieńcza spaliny.
24. W żelaznym złożu ciekłometalicznym rozpuszczają się takie metale jak: Cu, Al., Ni, As, Co, i inne, do żużła przechodzi wapń, krzem i metale: Hg, Mn, Cr i inne, natomiast odparowują z niego metale : natomiast odparowują z niego metale: Pb, Zn, Hg, Cd.

5. Właściwości technologiczne reaktorów RCM

Reaktory RCM umożliwiają prowadzenie w warunkach kontrolowanych procesów odgazowania i zgazowania materiałów organicznych przy użyciu różnych mediów: atmosfera beztlenowa, powietrze, tlen, mieszanka tlenowo-powietrzna, para wodna jako nośnik tlenu pozbawionego azotu, mieszanka parowo – powietrzna, itd.

W przypadku termicznego przetwarzania materiałów organicznych odpadowych szczególnego znaczenia nabierają zagadnienia ekologiczne. Z tego punktu widzenia dogodnie jest prowadzić proces przetwarzania odpadów w wysokich temperaturach 1200-2100°C, w których wiele związków organicznych ulega rozpadowi, a węglowodory redukują się w przeważającej części do tlenku węgla i wodoru.

W tak wysokim przedziale temperatur pracują reaktory ciekłometaliczne w hutach (reaktory RCM) i reaktory plazmowe.

W jądrze plazmy wytwarzana jest temperatura 10 000-20 000°C, na ściankach reaktora, które mają kontakt z przetwarzaną materią, występuje temperatura 1700-2500°C. W tej temperaturze np. w warunkach beztlenowych, 95% masy odpadów szpitalnych zostaje przetworzona na mieszaninę prostych gazów palnych (Tab.5.1).

Podobnie zachowują się inne odpady (np. trudnorozkładalne żywice) – tab. 5.2.

Tab. 5.1. Skład gazowych produktów pirolizy odpadów szpitalnych w reaktorze plazmowym

Rodzaj gazu plazmotwórczego – argon	H ₂	C	CO	CH ₄ C ₂ H ₄	H ₂ O	NO ₂ SO ₂ CO ₂	Metale popiół
% masy	5,50	2,75	81,75	5,00	2,75	brak	2,25

Tab. 5.2. Zestawienie masy pirolitycznych gazów palnych, lotnych w temperaturach pokojowych, w funkcji temperatury pirolizy dla wybranych grup odpadów organicznych

Wyszczególnienie % masy	Temperaturapirolizy w °C					plazma
	360	500	800	1200	brak danych	~ 2100
Żywica fenolo- formaldehydowa	25	28	44	48	brak danych	?
Żywica epoksydowa	38	75	86	87	brak danych	?
Odpady szpitalne	–	–	–	–	brak danych	95
Średnia wartość opałowa gazów (14 + 18) MJ/Nm ³ Granica startu silników gazowych: 12 MJ/Nm ³						

Tab. 5.3. Ilość energii cieplnej skumulowanej w Reaktorze Ciekło – Metalicznym w kWh przy temperaturach pracy w zakresie 1650-1200°C dla różnych metali w ilości 1t i 1m³

Wyszczególnienie	cyna		ołów		żelazo	
	1t	1m ³	1t	1m ³	1t	1m ³
od 1200 °C kWh do 1650 °C	47,34	345,6	24,91	282,8	190,7	1500
Moc cieplna potrzebna do pokrycia strat ciepła 24 kW/1t żelaza lub i utrzymania temperatury 1650°C w reaktorze RCM 160 kW/1m ³						

Poza obszarem temperatur plazmy, w przedziale temperatur 1200-2100°C, zjawiska pirolizy różnych materiałów organicznych zostały słabo zbadane. W wyniku wysokotemperaturowego procesu zgazowania odpadów organicznych otrzymuje się stosunkowo czysty gaz syntezowy o wartości opałowej równej połowie wartości opałowej gazu ziemnego, większej niż wartość progowa dla silników gazowych napędzających agregaty prądotwórcze.

Reaktory ciekłometaliczne (reaktory RCM), poza potrzebą pierwszego stopienia metalu, wymagają ciągłego doprowadzania energii cieplnej potrzebnej do podtrzymania temperatury procesu i pokrycia strat ciepła. Energia ta czerpana jest z egzotermicznych procesów zgazowania odpadów organicznych w przestrzeni reakcyjnej reaktora RCM. Dla odpadów organicznych o stosunkowo niskiej wartości opałowej, równej np. 1 MWh/1t, utylizowanych w ilości 1t/h w reaktorze z zawartością 1m³ ciekłego metalu, względna ilość tej energii cieplnej wynosi około 16% (tab. 5.3).

Nadmiar energii wyprowadzany jest z przestrzeni reakcyjnej do dalszego wykorzystania strumieniem gazów poreakcyjnych. Gazy te przed ich dalszym wykorzystaniem są studzone w procesie płukania w płucze wodnej i odpylane.

W reaktorach RCM oprócz zjawisk: osuszania, odgazowania (pirolizy) odpadów występuje także proces zgazowania węgla organicznego, którego w odpadach komunalnych jest około 55%, przy użyciu mieszanki parowo-powietrznej. Skład tej mieszanki jest tak dobrany, że:

- utrzymana zostaje stała temperatura w przestrzeni reakcyjnej poprzez zapewnienie równowagi pomiędzy endotermicznym procesem rozkładu wody w obecności węgla na CO i H₂ i egzotermicznym procesem półspalania węgla do postaci CO,
- zapewniony zostaje najniższy z możliwych poziom NO_x-ów,
- procesy egzotermiczne pokrywają straty ciepła występujące w układzie.

Reaktory RCM można traktować jako przedpaleniska istniejących kotłów. Mogą one także stanowić podstawowe urządzenie Zakładu Utylizacji Końcowej Odpadów.

6. Sposoby zagospodarowania gazów reakcyjnych

Gazy reakcyjne powstające w procesie zgazowania odpadów przy udziale wody w temperaturze 1 500 °C, zawierające CO i H₂ można zagospodarować w różny sposób:

1) Spalanie gazów reakcyjnych w powietrzu

W wyniku spalania gazów w powietrzu wydzielą się ciepło. Należy jednak liczyć się w tym przypadku z:

- dużą ilością spalin
- obecnością w spalinach tlenków azotu.

2) Spalanie gazów reakcyjnych w obecności utleniaczy

Spalanie gazów reakcyjnych w obecności utleniaczy prowadzi do wydzielania się ciepła. W tym przypadku powstaje jednak kilkakrotnie mniejsza ilość spalin, niż w przypadku pierwszym. W zależności od rodzaju użytego utleniacza w spalinach mogą się pojawić tlenki azotu, lub nie.

3) Spalanie w powietrzu schłodzonych gazów reakcyjnych

Gaz reakcyjny można schłodzić do temperatur np. pokojowych w chłodnicy, a następnie spalać schłodzony gaz reakcyjny w powietrzu, w kontrolowanych warunkach fizycznych. W tym przypadku w układzie są dwa źródła ciepła: chłodnica i palnik gazowy.

4) Spalanie gazów reakcyjnych w silnikach gazowych agregatów prądotwórczych

Schłodzony w chłodnicy gaz reakcyjny do temperatury 60 °C lub niższej może stanowić paliwo gazowe agregatów prądotwórczych wyposażonych w silniki gazowe. Jeśli ponadto agregat prądotwórczy wyposażony jest dodatkowo w wymiennik ciepła pracujący na spalinach, to jest on źródłem nie tylko energii elektrycznej, lecz również ciepłej.

5) Użycie gazów reakcyjnych do zasilania ogniw paliwowych

Gaz syntezowy, otrzymany z reaktora RCM, można użyć do zasilania ogniw paliwowych w celu produkcji energii elektrycznej.

Ogniwa paliwowe pracujące na gazie syntezowym ze sprawnością 40 % wejdą do eksploatacji za kilka lat.

6) Separacja składników gazów reakcyjnych

Gorące składniki gazów reakcyjnych można na sicie molekularnym rozdzielić na tlenek węgla i wodór. Wodór można wykorzystać w wodorowym ogniwie paliwowym o sprawności 60 %, natomiast tlenek węgla spalić w kontrolowanych warunkach spalania celem odzyskania energii ciepłej.

7) Likwidacja spalin gazów reakcyjnych

Gorące spaliny gazów reakcyjnych zawierające CO_2 i parę wodną można zredukować do CaCO_3 i wody. Wodę można ponownie zawrócić do procesu. W tym przypadku technologia RCM zostaje pozbawiona komina, staje się technologią „bezkominową”, i choć fizycznie jest technologią termiczną, nie jest technologią termiczną w rozumieniu Ustawy „O Odpadach”.

(Tlen do spalania gazów reakcyjnych można czerpać z kopalni, w których istnieją urządzenia do separacji tlenu atmosferycznego i azotu, przy czym tlen jest uwalniany do atmosfery, a azot służy do wentylowania zagrożonych wybuchem szybów kopalnianych).

8) Zintegrowanie reaktora RCM i spalarni odpadów

Dowolne odpady, dzięki reaktorowi RCM, można spalać w dowolnych warunkach, nawet w warunkach prymitywnych, a następnie popiół skierować do reaktora RCM celem jego wityfikacji. Również spaliny można skierować do tegoż reaktora i zmienić ich skład chemiczny dzięki użytym dodatkom i katalizatorom. W procesie szokowego schładzania spalin można odzyskać energię cieplną.

9) Przystawka Satelitarna

Reaktor RCM można potraktować jako Przystawkę Satelitarną współpracującą z kotłem energetycznym. W systemie tym zwityfikowany popiół wyprowadzany z reaktora używa się jako kruszywo budowlane, a gaz syntezowy (gazy reakcyjne) wprowadza się do komory paleniskowej kotła energetycznego, gdzie w atmosferze powietrza wtórnego z zastosowaniem np. technologii energowiru, gaz syntezowy zostaje spalony stając się dodatkowym źródłem ciepła w kotle. W ten sposób następuje współspalanie odpadów z paliwami kopalnymi.

7. Zakończenie

Przedstawiony powyżej proces w sposób zasadniczy różni się od spalania. W procesie spalania ważne są m. in. wartość opałowa i temperatura zapłonu paliwa. Temperatura spalania paliwa ustala się samoistnie w sposób przyrodniczy. W rozpatrywanym przypadku natomiast wartość opałowa przekształcanego materiału odpadowego, ani też jego temperatura jego zapłonu, nie gra żadnej roli. Poza tym w reaktorze RCM najpierw nastawia się pożądaną temperaturę procesu, a potem ten proces się przeprowadza. Poprzez dodanie czynników zewnętrznych, np. wody, zmienia się chemię procesu, co nie jest możliwe ani w procesach spalania, ani w plazmotronach.

Gaz poreakcyjny otrzymany w sposób opisany powyżej ma pięciokrotnie mniejszą objętość niż miałyby spaliny powstałe w procesie spalania materii odpadowej. Dlatego też w tym przypadku pochłonięcie CO_2 w znany sposób z gazów poreakcyjnych nie jest zbyt trudne. Prowadzi to do uwolnienia gazu H_2 jako ostatecznego produktu rozkładu odpadowej materii organicznej.

W przeprowadzonym doświadczeniu z wodorowym ogniwem paliwowym o mocy znamionowej 50 kW uzyskano moc rzeczywistą 35 kW. Dalsze wykorzystanie tak wytworzonej energii elektrycznej do podtrzymania procesów zachodzących w reaktorze RCM wydaje się być oczywiste.

Tak wytworzony wodór można wykorzystać do uwodorniania paliw w rafineriach.

Literatura

1. Pilawski M., Pabjan Z., Ziętek M.: Sposób i urządzenie do termicznego i termokatalitycznego przekształcania materii. Zgłoszenie patentowe nr P-330 299 z dnia 15.12.1998 r.

THERMAL, WESTELESS AND CHIMNEYLESS TECHNOLOGY OF ALL WASTES TRANSFORMATION BY- PRODUCT RECOVERY

Abstract: Energy recycling of organic wastes is understood as a process in which the recovered energy used for production of object, delivered to damp. Within this process from wastes is produced useful energy, ecological gas fuels and/or materials, the usage of which leads to energy savings. Universal method of energy recycling of wastes is based on the use of liquid metallic reactor, in which thermal processing of wastes takes place in the reaction space above the layer of liquid metal in temperature regulator by e.g. wire current intensity. The usage of metals with low melting temperature and high evaporation temperature (tin, lead, iron) give possibilities of thermal wastes processing in a wide range of temperatures, each time adjusted to the kind and properties materials, with very high efficiency. Gas CO_2 is absorbed and transformed into compounds type X_2CO_3 . In such a case the hydrogenium is as a reaction product gas only. Hydrogenium works in fuel-cell to production of electric energy and water. Water is turn round into process. In installation the chimney is not presented.

Tadeusz Potocki*

WYBRANE ZAGADNIENIA Z TECHNOLOGII PRODUKCJI BIOPALIWA Z OLEJU RZEPAKOWEGO

Streszczenie: Estry metylowe kwasów tłuszczowych (RME) produkowane z rafinowanego oleju rzepakowego, stanowią alternatywne paliwo (odnawialne) do wysokoprężnych silników spalinowych. Przemiana estrowa (alkoholiza) oleju rzepakowego wywołana jest przez metanol w obecności katalizatora (np. KOH lub NaOH). W referacie przedstawiono krótką charakterystykę etapów produkcji estrów metylowych. Każdy z etapów produkcji wymaga wybudowania odpowiedniej instalacji lub zainstalowania odpowiednich urządzeń. Wyróżniono cztery etapy produkcji: skup i przygotowanie nasion rzepaku, tłoczenie i wstępne oczyszczanie oleju, rafinacja oleju przed przemianą estrową (alkoholizacją), alkoholiza oleju i końcowa filtracja biopaliwa (RME).

1. Wiadomości wstępne

Materiałem wyjściowym do produkcji biopaliwa (estrów metylowych kwasów tłuszczowych, oznaczanych skrótowo RME) są tłuszcze roślinne, będące mieszaniną estrów różnych kwasów tłuszczowych i jednego alkoholu – glicerolu (gliceryny). Oleje wytłaczane z roślin oleistych różnią się między sobą udziałem procentowym estrów glicerynowych nazywanych także glicerydami, wchodzących w ich skład. Z roślin oleistych uprawianych w Polsce najbardziej popularny jest rzepak. W związku z czym olej wytłaczany z nasion tej rośliny jest podstawowym materiałem stosowanym w produkcji biopaliwa przeznaczonego do zasilania silników wysokoprężnych. Pod względem chemicznym, biopaliwo jest mieszaniną estrów metylowych kwasów tłuszczowych.

Przemiana estrowa (alkoholiza) oleju roślinnego (rzepakowego) wywoływana jest przez metanol (alkohol metylowy) w obecności katalizatora, którym może być wodorotlenek potasu (KOH) lub wodorotlenek sodu (Na OH).

* TESTMER Warszawa S.A.

W skrócie, proces przemiany esterowej (alkoholizy) przebiega następująco. Wodorotlenek potasu, wymieszany w odpowiedniej proporcji z alkoholem metylowym, dodawany jest do oleju rzepakowego i intensywnie mieszany. W trakcie mieszania, katalizator przyspiesza reakcję rozpadu wiązań estrowych pomiędzy glicerolem, a resztami kwasów tłuszczowych.

Wolne kwasy tłuszczowe natychmiast wchodzą w reakcję z alkoholem metylowym i powstają nowe estry nazywane estrami metylowymi kwasów tłuszczowych (RME). Cząsteczki glicerolu pozostają zaś wolne. Tak więc w pierwszej fazie przemiany estrowej powstaje mieszanina estrów metylowych i gliceryny (z pewną zawartością różnych zanieczyszczeń np. soli kwasów tłuszczowych). Powyższa mieszanina pozostawiona na pewien czas w zbiornikach – odstojnikach rozwarstwa się.

Estry metylowe jako lżejsze, gromadzą się w górnej części zbiornika, gliceryna zaś, o wyższej masie cząsteczkowej, opada na dno zbiornika. Pomiedzy powyższymi fazami powstaje także warstwa pośrednia będąca mieszaniną różnych frakcji (w tym także estrów glicerynowych, które nie uległy jeszcze przemianie estrowej).

Estry metylowe, odciągnięte z górnej części zbiornika, po odpowiednim oczyszczeniu, stanowią już gotowe paliwo, które może być stosowane zamiennie do zasilania silników wysokoprężnych. Należy dodać przy tym, że silniki nie wymagają żadnej przeróbki technicznej.

Przemiana estrowa oleju roślinnego zachodzi także po zmianie alkoholu metylowego na etylowy (odwodniony). W związku z tym powstają estry etylowe, także nadające się do zasilania silników wysokoprężnych. Jednak reakcja wymaga dodania znacznie droższego etanolu (obciążonego akcyzą).

2. Etapy produkcji biopaliwa z nasion rzepaku

W procesie wytwarzania biopaliwa można wyróżnić cztery etapy produkcji:

- skup, przygotowanie i magazynowanie nasion rzepaku,
- tłoczenie i wstępne oczyszczanie oleju,
- rafinacja oleju przed przemianami estrowymi,
- przemiany estrowe oleju rzepakowego i końcowa filtracja biopaliwa.

2.1. Planowanie inwestycji

Podczas planowania inwestycji należy przeanalizować możliwości zgromadzenia – surowca – jakim są nasiona rzepaku, na całoroczną produkcję. Jeśli przy-

szły producent posiada własne magazyny, może zorganizować skup rzepaku we własnym zakresie.

Niezbędne są do tego celu następujące urządzenia:

- przyjęcie nasion: waga pomostowa, kosz przyjęciowy z ciągami transportowymi, zbiornik buforowy skupionych nasion
- oczyszczalnia nasion (dopuszczalna ilość zanieczyszczeń < 2%).
- suszarnia nasion (dopuszczalna wilgotność 6-7 %)
- silosy suchego ziarna odpowiedniej pojemności

2.2. Tłoczenie i wstępne oczyszczanie oleju

Tłoczenie i wstępne oczyszczanie oleju związane jest ze znacznymi kosztami budowy tej instalacji. Wielkość kosztów zależy od planowanej wydajności, a także od wybranego producenta urządzeń.

W skład urządzeń wchodzi:

- zbiornik buforowy na rzepak do produkcji
- płatkownica nasion,
- prażnia nasion,
- prasa ślimakowa o wydajności odpowiadającej założonej produkcji,
- urządzenia do oddzielania stałych części i filtrowania surowego oleju,
- ciągi transportowe,

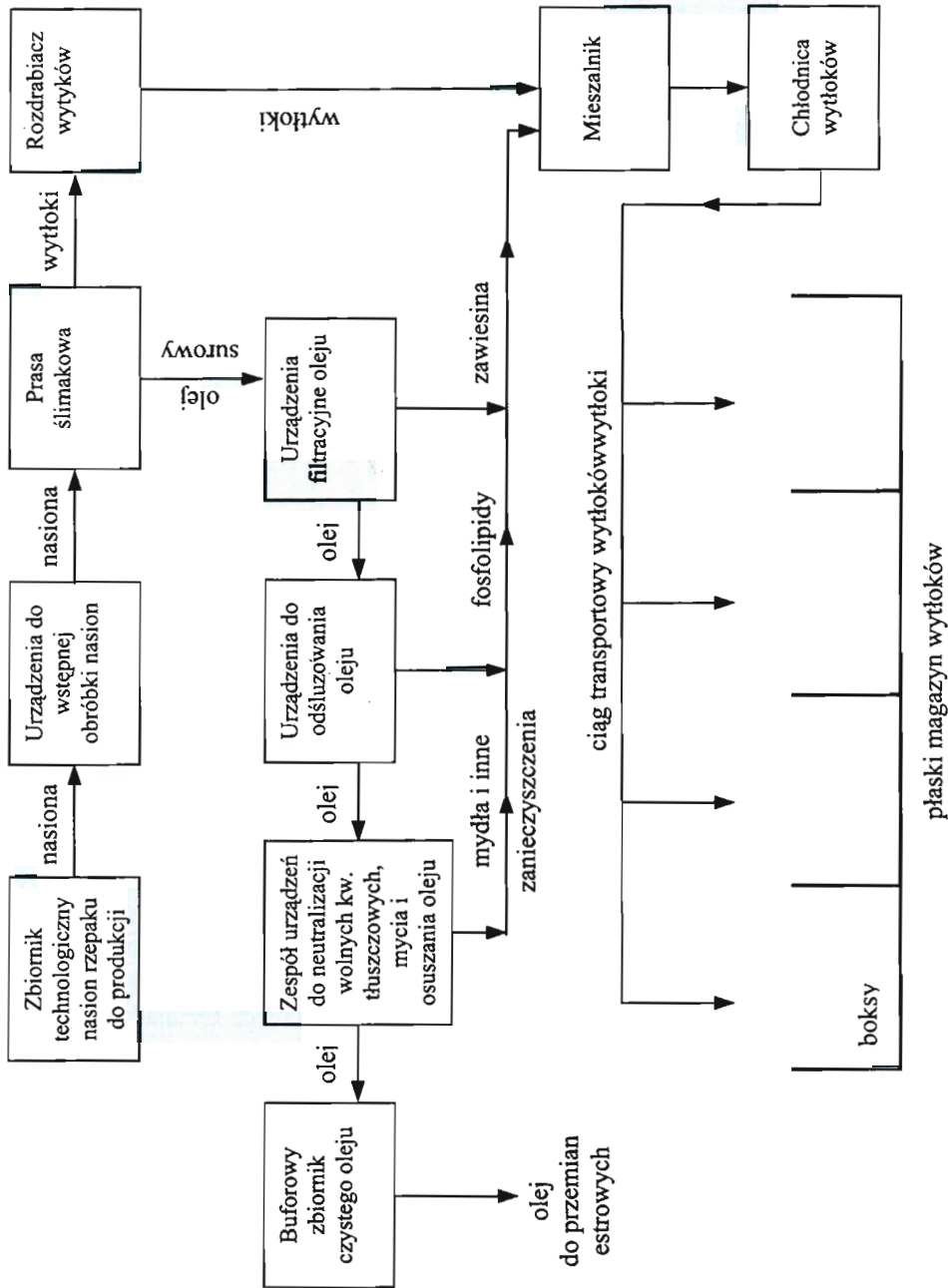
Proces tłoczenia i rafinacji oleju przedstawiony jest w postaci schematu blokowego na rys. 1.

2.3. Rafinacja oleju

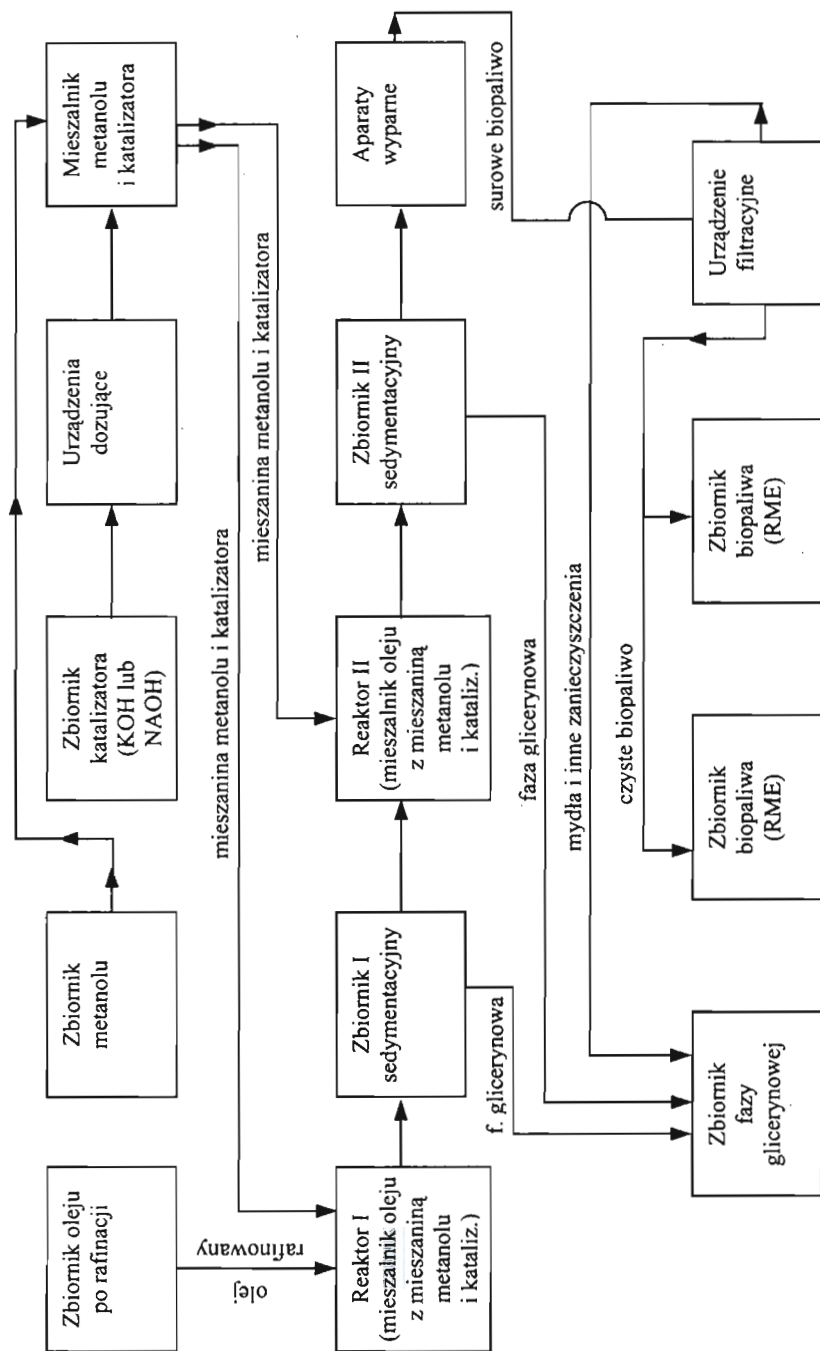
W procesie rafinacji oleju zostaje obniżona zawartość fosforu i wolnych kwasów tłuszczowych, a także następuje standaryzacja pH. Instalacja składa się z szeregu zbiorników znacznych objętości, mniejszych zbiorników na kwas cytrynowy i ług sodowy, wirówek do odwirowania zbędnych składników, zbiorników na odpady osfolidy i mydła), osuszacza oleju wraz z pompą próżniową, wymienników ciepła i zbiornika buforowego czystego oleju o dobranej objętości. Instalacja zawiera szereg pomp o różnym przeznaczeniu, a także ciągi transportowe.

2.4. Instalacja do przemian estrowych i oczyszczania biopaliwa

Jak wspomniano przemiana estrowa (alkoholiza) oleju roślinnego (rzepakowego) wywoływana jest przez metanol (alkohol metylowy) w obecności katalizatora, którym może być wodorotlenek potasu(KOH) lub wodorotlenek sodu(NaOH).



Rys. 1. Schemat instalacji technologicznej wytłaczania, filtracji i rafinacji oleju rzepakowego wraz z linią obróbki wytłoków



Rys. 2. Schemat blokowy instalacji technologicznej do produkcji biopaliwa z oczyszczonego oleju rzepakowego

Proces wytwarzania RME (biopaliwa) przebiega w następujących etapach (rys. 2):

- przygotowanie mieszaniny alkoholu metylowego i KOH (w odpowiednich proporcjach)
- wymieszanie oczyszczonego oleju roślinnego z powyższą mieszaniną w naczyniu zwanym reaktorem,
- przepompowanie mieszaniny do odстойnika celem oddzielenia surowego RME i gliceryny,
- odpompowanie surowego RME do drugiego reaktora, zaś gliceryny do oddzielnego zbiornika,
- drugi proces dozowania mieszaniny metanolu i KOH do surowego RME oraz pomocniczego materiału filtracyjnego (mączki drzewnej),
- intensywne mieszanie przez pewien czas w drugim reaktorze,
- odpompowanie surowego RME i poddanie oczyszczeniu na odpowiednich filtrach oraz usunięcie pozostałości metanolu (odparowanie w wyparkach),
- odpompowanie surowej gliceryny do zbiornika.

Instalacja powinna pracować w warunkach bezwodnych i powinna być wyposażona w urządzenie wahadła gazowego, urządzenie oczyszczające powietrze wylotowe oraz wykrywacze gazu.

W pomieszczeniach produkcyjnych powinny być zainstalowane czujniki zawartości metanolu i RME w powietrzu, a także czujniki przeciwpożarowe.

3. Dane ilościowe

Materiałem wyjściowym do produkcji biopaliwa są nasiona rzepaku. Celem wykonania przybliżonych wyliczeń można przyjąć, że dla wyciśnięcia 1000 kg oleju należy zużyć ok. 3000 kg nasion rzepaku. Powyższa ilość oleju pozwoli na wyprodukowanie $\sim 1000 \text{ dm}^3$ biopaliwa, przy czym zostaną zużyte inne niezbędne materiały wyjściowe:

- metanol (odwodniony alkohol metylowy) – 160 dm^3
- wodorotlenek potasu (KOH) – 20 kg
- węgiel aktywny – 20 kg

Poza produktem końcowym, jakim jest biopaliwo, w ilości 1000 dm^3 , powstają odpady:

- faza glicerynowa (ok. 40-to%) w ilości $\sim 200 \text{ dm}^3$
- odwirowane mydła i inne zanieczyszczenia- śladowe ilości, które są przetransportowane do zbiornika gliceryny

- śruta rzepakowa o zawartości oleju: 9-12 % (stanowiąca cenny komponent do produkcji pełnoporcjowych mieszanek paszowych), w ilości ~660 kg

Inne produkty odpadowe, powstające w 2.1. i 2.3. etapie produkcji biopaliwa, odprowadzone są i mieszane ze śrutą rzepakową, stanowiąc dodatkowy cenny składnik.

Reasumując, w procesie produkcji biopaliwa powstają odpady w postaci śruty rzepakowej i fazy glicerynowej, stanowiące cenny materiał do dalszego zagospodarowania. Nie są więc odpadem kłopotliwym dla ochrony środowiska. Inne odpady nie powstają.

4. Relacje cenowe

Kalkulacje cenowe 1 dm³ biopaliwa, wykonane w różnych ośrodkach, są dość zbieżne. Przy pełnym zagospodarowaniu (lub sprzedaniu) śruty rzepakowej i fazy glicerynowej, cena produkcji 1 dm³ biopaliwa waha się w przedziale 1,6 ÷ 2,0 zł i zależy od skali produkcji. Warunkiem opłacalności jest tłoczenie oleju we własnej tłoczni. Przy zakupie gotowego oleju, produkcja będzie nieopłacalna.

Koszty budowy instalacji zależne są przede wszystkim od wydajności, jak też od jakości zakupionych urządzeń (wyboru dostawcy).

Dlatego też na wstępnym etapie rozważań o budowie instalacji, bez znajomości warunków i możliwości inwestora, a także rocznej wielkości produkcji, nie można nawet w przybliżeniu oszacować kosztów inwestycji.

Każdy przypadek należy analizować indywidualnie po zapoznaniu się z wymaganiami i realiami inwestora.

Bernard Rzeczyński*

UTYLIZACJA SUROWCOWA (WYBRANYCH) ODPADÓW STAŁYCH JAKO DYFUZYJNY PROCES KULTUROWO-LOGISTYCZNY

Streszczenie: Utylizacja odpadów ma cztery wymiary: kulturowy, logistyczny, ekonomiczny i ekologiczny. Praca omawia dyfuzję zachowań kulturowych względem odpadów komunalnych stałych i poszanowania tkwiących w nich wartości surowcowych oraz czynności w łańcuchu logistycznym postępowania z tymi odpadami. Analizą procesową objęto opakowania szklane i niektóre elementy złomu samochodowego.

1. Wprowadzenie

W Polsce takie pojęcia jak: *utilizacja, surowce odpadowe, kultura gospodarki odpadami i odpady jako kategoria logistyczna*, są jeszcze dalekimi w realnym świecie zachowań obywateli, gospodarki i administracji publicznej. Znamienne, że dopiero nowa ustawa o odpadach z kwietnia 2001 r. dostrzegła istnienie *recyklingu* i nadała mu prawo obywatelstwa, przy wieloletnim wstrzymywaniu się od tego, co w krajach Unii Europejskiej jest od dawna uregulowane prawnie i z pożytkiem dla ich gospodarek stosowane. Jest również wreszcie od stycznia 2002 r. ustawa o opakowaniach i odpadach opakowaniowych.

Ustawa o odpadach stanowi, iż *recykling, to taki odzysk, który polega na powtórnym przetwarzaniu substancji lub materiałów zawartych w odpadach w procesie produkcyjnym w celu uzyskania substancji lub materiału o przeznaczeniu pierwotnym lub o innym przeznaczeniu, w tym też recykling organiczny, z wyjątkiem odzysku energii*. Przez *odzysk* rozumie się natomiast wszelkie działania [...] polegające na wykorzystaniu odpadów w całości lub w części, lub prowadzące do odzyskania z odpadów substancji, materiałów lub energii i ich wykorzystania. Utylizacja jest więc synonimem recyklingu.

* Centrum Logistyki Higieny Komunalnej, ul. Niegolewskich 14, 60-232 Poznań

2. Kulturowy i logistyczny krąg znamionowy utylizacji

2.1. Krąg kulturowy utylizacji

Treścią kultury jest przekazywanie wartości, jej wzbogacanie poprzez ich utrwalanie i tworzenie nowych wartości oraz ich udostępnianie i rozpowszechnianie. Każde stworzone dzieło zaczyna swoje życie po udostępnieniu go innym, staje się wzorem dla innych dzieł, inspiruje a jednocześnie zostaje poddane ocenie. Każda okazana postawa i zachowanie wobec otoczenia czynią to samo. Proces wielostronnej oceny ma istotny wpływ na rozwój kultury, na tworzenie wzorów, które są potem naśladowane twórczo, czyli udoskonalane i stają się nowymi wzorami. Historia zna skutki zaniku mechanizmów oceny i wie, że zawsze wiązało się to z degradacją kultury. Przestawały istnieć wielkie cywilizacje a degradacja postępowała znacznie szybciej niż poprzednio dokonywał się ich rozwój.

Istotnym miernikiem stanu kultury jest tworzenie i przestrzeganie prawa. Kodeks prawa cywilnego Justyniana I Wielkiego opracowany w latach 528-534, a nazywany od XVI w. prawem rzymskim, stanowi, iż *prawo jest sztuką stosowania tego, co dobre i słuszne*. W Polsce prawa gospodarki odpadowej są ułomne i ciągle nowelizowane, a przy tym nagminnie nie respektowane. Może wiąże się to z dowiedzionym ostatnio znacznym analfabetyzmem funkcjonalnym (tutaj u legislatorów i adresatów prawa) a na pewno z systemem chałupniczego i akcyjnego odzysku surowców wtórnych i ekwilibrystyki między ideą a *perpetuum immobile*.

2.2. Krąg logistyczny utylizacji

Logistyka stosowana bywa w gospodarce dopiero od około 30 lat, głównie w produkcji przemysłowej. Brak zauważalnych znamion jej oddziaływania na gospodarkę recyklingową. Punktem wyjścia dla scharakteryzowania koncepcji logistyki jest myślenie kategoriami wartości i korzyści. Logistyka w gospodarce odpadami, to w istocie logistyka dystrybucji, ze świadczeniem pracy różnymi systemami infrastruktury kulturowej (intelektualnej, infrastrukturalnej, technologicznej, transportowej, informacyjnej i in.). Zarządza ona łańcuchem dostaw odpadów od miejsc ich powstawania do miejsc ich spożytkowania lub unieszkodliwienia, przy przepływie ich strumieni :

- we właściwym miejscu i dystrybucji skanalizowanej,
- we właściwym czasie i bez opóźnień,
- we właściwej technologii i z zastosowaniem właściwych środków,
- przy stałym monitorowaniu dystrybucji, popytu i podaży (w aspekcie ilościowym, jakościowym, dostępności czasowej i przestrzennej oraz oczekiwań stron, np. w postaci indywidualnych zamówień usługi),

- uwzględniających substytucję usług sanitacyjnych i recyklingowych
- po kosztach satysfakcjonujących wytwórcę, dystrybutora i konsumenta odpadów surowcowych,
- po akceptowalnych kosztach publicznych (globalnych społecznych),
- z bezpieczeństwem ekologicznym, materialnym i informacyjnym,

2.3. Dyfuzja kultury i logistyki utylizacji

67% ludności ocenia sensowność przydatności gospodarczej zbiórki opakowań szklanych. Z analizy pozbywania się ich w gospodarstwach domowych wynika, że gromadzi je oddzielnie tylko 36 % gospodarstw, wrzuca do pojemnika bez segregacji 33 %, a o zachowaniach pozostałych trudno powiedzieć.

Stosunek do ochrony środowiska znamionuje często *syndrom NIMBY* (= *not in my backyard*, czyli nie w moim otoczeniu). Na pytania sondażowe Centrum Badania Opinii Społecznej z marca 1997 r. *kto przede wszystkim powinien podejmować działania na rzecz poprawy stanu środowiska w twojej miejscowości*, tylko 16% uważa, że także sami mieszkańcy, a reszta, iż władze, przedsiębiorstwa oraz partie i stowarzyszenia ekologiczne..

Efektywność recyklingu nie zależy wyłącznie od zrozumienia potrzeby poszanowania zasobów przetworzonych oraz stosowania urealnionej polityki ekonomicznej ich odzysku i zastosowania produkcyjnego. Istotnym czynnikiem powodzenia recyklingu jest organizacja ich selektywnego gromadzenia i zbywania. Do selektywnego zbywania opakowań szklanych bardziej skłaniają ludność racje ekologiczne niż ekonomiczne, np. w Poznaniu i gminach ościennych 90% pozyskuje się ich w zbiorce nieodpłatnej. Niestety niewłaściwa lokalizacja pojemników ulicznych, np. pod oknami, trudna dostępność, brak terminowego opróżniania, gromadzenie w nich innych odpadów i nieprzyjemna woń, to tylko niektóre objawy dysfunkcji systemu logistycznego recyklingu. Reakcja służb sanitacyjnych jest nader prosta: skoro mieszkańcy protestują przeciwko takiemu sposobowi odzysku surowców wtórnych, to likwiduje się pojemniki. Zapomina się przy tym (co skonstratował francuski filozof Wolter, a co wynika również z polskiego prawa ochrony środowiska), że *odpowiedzialni jesteśmy nie tylko za, co czynimy, lecz także za to, czego nie czynimy!*

3. Zmienności definicyjne odpadów komunalnych i znaczenia utylizacji

Do stycznia 2000 r. ustawa z września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach zaliczała *porzucone wraki pojazdów mechanicznych* do odpadów komunalnych. Po kilkunastu miesiącach wraki przestały być prawnie odpadami komunalnymi. Teraz *przez odpady komunalne rozumie się odpady powstające w gospodarstwach domowych, a także odpady nie zawierające odpadów niebezpiecznych pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych.*

Utylizacja (fr. *utilisation* = wykorzystywanie surowców odpadowych lub takich, które straciły wartość użytkową) stanowi naturalny, logiczny ekonomicznie i ekologicznie proces spożytkowania zbędnego produktu i jego pochodnych, a więc recyklingu. Niestety przy nowelizacji prawa, np. samorządowego, zmieniono ‘utylizację’ na ‘unieszkodliwianie’, co w kategoriach logicznych jest błędne, a w ekonomicznych sprowadza proces zarządzania gospodarczego odpadami do ich unieszkodliwiania. W kompatybilnej ustawie sanitacyjnej z kolei, wyraz ‘wykorzystywania’ zastępuje się wyrazem ‘odzysku’, przy czym nie wiadomo, czy jest to zmiana nazwy czy zakresu zadań gminy.

4. Zadania i dylematy gminy w zakresie gospodarki odpadami

Gospodarka odpadami komunalnymi stanowi jedno z fundamentalnych zadań własnych gminy. Należą do nich w szczególności:

- zapewnienie budowy, utrzymania i eksploatacji [...] instalacji i urządzeń do odzysku lub unieszkodliwiania tych odpadów ,
- organizowanie selektywnej zbiórki, segregacji oraz magazynowania odpadów komunalnych, w tym [...] przydatnych do odzysku,
- ustalanie [...] prowadzenia we wskazanym zakresie selektywnej zbiórki odpadów komunalnych,

Gmina ma jednak do rozwiązania niebagatelny dylemat prawno-ekonomiczny. Rada gminy ustala niższe stawki opłat, gdy odpady komunalne są zbierane i transportowane w sposób selektywny. Przykładem owego dylematu są poznańskie zasady nakazujące przedsiębiorstwom wywożącym odpady obniżenie o 30% stawek tym, którzy dokonują ich segregacji. Jeżeli stałoby się to powszechnym zwyczajem, pożądanym ze względu na ochronę środowiska i jego zasobów, to przedsię-

biorstwom tym groziłyby poważne kłopoty finansowe a nawet bankructwo, ponieważ Rada Miasta popierając ideę segregacji, nie potrafi dać odpowiedzi, czy byłaby w stanie zrekompensować wywóz odpadów poniżej kosztów własnych. Trudno się więc dziwić, że przedsiębiorstwa te organizujące również zbiórkę surowców wtórnych rezygnują z niej, ponieważ koszty ich transportu do przetwórców przekraczają zysk ze sprzedaży.

5. Przykłady analizy utylizacji surowców poużytkowych

5.1. Opakowania szklane

W krajach UE do opakowania płynnych produktów spożywczych (głównie mleka, piwa i napojów sokowych) w 80 % stosowane jest szkło. W Polsce w sierpniu 1996 r. przemysł mleczarski zrezygnował ze szkła do opakowania swych produktów, a zalew butelek plastikowych stosowanych do innych napojów dopełnił zaniku wykorzystania zużytych opakowań szklanych w ponownym obiegu gospodarczym lub jako stłuczki w procesie ekonomizacji produkcji nowych opakowań.

W Polsce statystyczny mieszkaniec wytwarza rocznie 21 kg odpadów szklanych. Ilość stłuczki możliwej do odzyskania ocenia się na 15%, czyli około 3,2 kg od mieszkańca, ale według ostatnich analiz w różnych miastach zbiera się np. w Toruniu 2,5 kg, w Poznaniu 2,1 kg a w Łodzi zaledwie 0,2 kg. Im dalej na wschód kraju, tym generalnie gorsze efekty odzysku. W Austrii każdy mieszkaniec zbiera ich rocznie 26,3 kg a w Niemczech 30,4 kg, tj. prawie 60 % zużytych. W Anglii, z 60 kg zużywanych rocznie przez gospodarstwo domowe opakowań szklanych do hut trafia 90%. Według badań autorskich, polskie huty opakowań szklanych pozyskują z zewnątrz tylko 1,5-3,0% stłuczki. Recykulacyjny jej udział w produkcji nowych opakowań wynosić może (a ekonomicznie jest pożądany) 70% dla szkła białego, 80% dla brunatnego i 90% dla zielonego.

5.2. Elementy złomu samochodowego

Pojazd wycofany z eksploatacji niezdolny do ruchu jest przedmiotem poużytkowym i skoro jest odpadem powinien być traktowany jako odpad poużytkowy. Tymczasem przepisy o *rocznych poziomach odzysku i recyklingu odpadów [...] poużytkowych* nie obejmują pojazdów, a tylko ich pewne elementy: z podgrupy 16 01 *Wyeksploatowane pojazdy* zaledwie opony, z podgrupy 16 06 *Baterie i akumulatory* te elementy a z podgrupy 13 02 *Odpadowe oleje smarowe (w tym silnikowe i przekładniowe)* te odpady..

Polska akcesja do UE oznacza stosowanie tych samych co tam reguł recyklingowych. Dyrektywa o wycofanych z użytku pojazdach delimituje składowanie na wysypisko od 2006 r. najwyżej 15% masy pojazdu, a od 2015 r. tylko 5%. W UE corocznie złomuje się na skutek wycofania z użytku 6% parku samochodowego.. Udział wycofanych z użytku (wyrejestrowanych) samochodów w Polsce ocenia się, iż wyniósł on w 2000 r. 3,3%, tj. 300 tys. . Oznacza to, że w porównaniu z obecnymi i za trzy lata obowiązującymi nas standardami europejskimi, jeszcze raz tyle ruchomych odpadów samochodowych krąży po polskich drogach.

6. Dystans wobec unijnej kultury prawnej i ekologii

W ramach negocjacji o członkostwo w UE Polska akceptuje i wdroży do 31 grudnia 2002 r. *acquis communautaire* w obszarze 'Środowisko' z wyjątkiem implementacji następujących aktów prawnych::

- dyrektywy 75/442/EWG w sprawie odpadów – występuje się o 10-letni okres przejściowy, który trwać będzie do 31 grudnia 2012 r.,
- dyrektywy 94/62/WE w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych – występuje się o 5-letni okres przejściowy, który trwać będzie do 31 grudnia 2007 r., przy założeniu 25% poziomu odzysku..

Tymczasem wytyczone poziomy odzysku do 2007 r. są zerowe dla wszystkich rodzajów opakowań, przy wyznaczeniu określonych poziomów ich recyklingu. Jak brak odzysku opakowań może poddawać je recyklingowi, to zaiste wskazanie, że wreszcie *Salomon z pustego naje!* Z kolei przewiduje się odzysk opon, jednak bez ich recyklingu (trudno zresztą zinterpretować logicznie 'nie dotyczy' (tab.1).

Tab. 1. Wytyczone poziomy odzysku i recyklingu opakowań szklanych i opon

Przedmiot ^a	Symbol PKWiU	2002		2007	
		odzysk	recykling	odzysk	recykling
		%			
Szkło ^b	26.13.11	-	13	-	40
Opony ^c	25.11.11/13-55	25	nie dotyczy	75	nie dotyczy

^a Opakowanie lub produktu, z którego powstał odpad, ^b Gospodarcze, bez ampułek, ^c Nowe, używane i regenerowane używane

Dodać trzeba, iż klasyfikacja działalności i urządzeń ochrony środowiska nie obejmuje recyklingu, a jedynie *usuwanie i unieszkodliwianie odpadów niebezpiecznych* (i tak samo innych niż niebezpieczne) *przez spalanie, termiczne*

przekształcanie i składowanie a klasyfikacja działalności gospodarczej tylko gospodarkę ściekami oraz wywóz i unieszkodliwianie odpadów.

7. Funkcje recyklingowe opakowań

W stosowaniu opakowań w niewielkim stopniu rozważane są ich funkcje recyklingowe, zarówno w odniesieniu do możliwości ponownego wykorzystania opakowań, jak i ich zużytkowania w postaci surowca wtórnego. Należy mniemać, że ustawa o opakowaniach i odpadach opakowaniowych wymusi zwiększenie poziomu recyklingu opakowań, który w porównaniu z Niemcami jest o prawie połowę niższy a względem Holandii przy zbliżonej masie opakowań wprowadzanych na rynek wynosi on tylko około 41% (tab.2)

Tab. 2. Opakowania wprowadzone na rynek i ich recykling w Polsce, Niemczech i Holandii w 1997 r

Przedmiot	Polska	Niemcy	Holandia
Opakowania wprowadzone na rynek tys. Mg	2451	13661	2710
kg/M ^a	46	167	178
Recykling odpadów opakowaniowych tys.Mg	509	5233	1366
%	20,8	40,0	50,4
kg/M	9,6	66,8	89,7
Krotność (Polska = 1,0)	1,0	7,0	9,3

^a Oznacza kg/mieszkańca

8. Funkcje i projektowanie recyklingowe samochodów

Ponowiony na przedwiośniu 2002 r. szturm polskich laweciarzy na zachodnią granicę celną, był dążeniem do nieograniczonego wprowadzania do obiegu gospodarczego samochodów będących często wrakami. Blacharsko – lakiernicza rewitalizacja tak oszałamia ich użytkowników, że znakomicie powiększają statystykę tragedii na drogach. Złom ten krąży po nich, a w końcu jako bezużyteczny, tylko w części podlega demontażowi surowcowemu. Poza beztroską o poszanowanie zasobów, powód takiego postępowania jest również inny, mianowicie brak dostatecznej liczby racjonalnie zlokalizowanych demontowni i złomowni. Francuskie doświadczenia z samochodem renault-safrane wskazują, iż odzyskać można 80% elementów (według ciężaru) nadających się do recyklingu materiałowego, 15% stanowi odzysk energetyczny, a na wysypisko trafia tylko 5%.

Warunkiem efektywnej utylizacji złomowanych samochodów jest ich projektowanie zorientowane na recykling, czyli na maksymalny odzysk asortymentowy i materiałowy ich elementów przy zastosowaniu tworzyw, które spełniają standardy konstrukcyjne i wyposażeniowe i są nieskomplikowane podatne na rozbiór.

Literatura

1. Analfabeci po szkole, Rzeczpospolita 2002, nr 119.
2. Dyrektywa 75/442/EWG w sprawie odpadów.
3. Dyrektywa 94/62/WE w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych.
4. Dyrektywa 2000/53/EC o wycofanych z użytku pojazdach.
5. **Jakóbiec J. i in.:** Problem recyklingu samochodów, olejów smarowych i olejów eksploatacyjnych w Polsce, Problemy recyklingu – I Międzynarodowa konf. nauk.-techn., Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego Warszawa + Politechnika Warszawska-filia Płock, Rogów, 2001, t.1.
6. **Merkisz A.:** Koszty wprowadzenia Dyrektywy o wycofanych z użytku pojazdach, Problemy jw.
7. (Nie) chciana segregacja, Głos Wielkopolski, 1997, nr 28.
8. Nowa encyklopedia powszechna PWN, Warszawa, Wydawn. Naukowe PWN, t.1. 1995, t.5. 1996.
9. Protestowali, to zabrali (Pojemniki na surowce wtórne przeszkadzają mieszkańcom), Gazeta Wyborcza 2002, nr 115.
10. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 2 listopada 2000 r. w sprawie określenia odpadów, które powinny być wykorzystywane w celach przemysłowych, oraz warunków, jakie muszą być spełnione przy ich wykorzystywaniu. Dz. U. 2000, nr 100, poz. 1078.
11. Rozporządzenie Rady Ministrów z 2 marca 1999 r. w sprawie Polskiej Klasyfikacji Statystycznej Dotyczącej Działalności i Urząd. Związanych z Ochroną Środowiska, Dz. U. 1999, nr 25, poz. 218.
12. Rozporządzenie Rady Ministrów z 3 listopada 1999 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD), Dz. U., 1999, nr 92, poz. 1047.
13. Rozporządzenie Rady Ministrów z 30 czerwca 2001 r. w sprawie rocznych poziomów odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych i poużytkowych, Dz.U.2001, nr 69, poz. 719.
14. **Rzeczyński B.:** Logistyka jako instrument (Miejskie usługi infrastrukturalne), Miasto 1999, nr 10.

15. **Rzeczyński B.:** Perspektywy recyklingu opakowań szklanych w przekroju doświadczeń oraz tendencji krajowych i zagranicznych w zarządzaniu odpadami komunalnymi. III Konferencja nauk.-szkoleniowa „Opakowania a ochrona środowiska”. Poznań, Arka Konsorcjum S.A. 1999.
16. **Rzeczyński B.:** Towarowe znamiona odpadów komunalnych stałych (2) *Eko-Problemy* 1996, nr 1.
17. Słownik wyrazów obcych PWN, PWN, Warszawa 1980.
18. Stanowiska Polski w ramach negocjacji o członkostwo Rzeczypospolitej Polskiej w Unii Europejskiej, Kancelaria Prezesa Rady Ministrów, Warszawa 2000.
19. Ustawa z 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym, ze zm. aż po Dz. U. 2001, nr 45, poz. 497.
20. Ustawa z 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach, Dz. U. 1996, nr 132, poz. 622, ze zm. aż po Dz. U. 2000, nr 22, poz. 272.
21. Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz. U. 2001, nr 62, poz. 627.
22. Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. o odpadach, Dz. U. 2001, nr 62, poz. 628.
23. Ustawa z 11 maja 2001 r. o opakowaniach i odpadach opakowaniowych, Dz. U. 2001, nr 63, poz. 38.

RAW MATERIAL UTILISATION OF (SELECTED) SOLID WASTE AS DIFFUSIONAL CULTURE-LOGISTIC PROCESS

Abstract: Waste utilisation has four dimensions: cultural, logistic, economic and acological as well. The paper discusses a diffusion of cultural behaves towards the municipal solid waste and respecting the raw material values of it and of operational dealing with that waste in logistic chain. The process analysis covers glass packaging and some car scrap elements.

Jan Sidor, Zygmunt Drzymała*

SYNTEZA KONSTRUKCJI PRZEMYSŁOWEGO MŁYNA WIBRACYJNEGO O NISKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI DRGAŃ DO MIELENIA TLENKU CHROMU NA SUCHO

Streszczenie: W pracy podano przykład opracowania i zastosowania prototypowego młyna wibracyjnego o niskiej częstotliwości drgań poniżej 12 Hz i niskim przyspieszeniu ruchu drgającego poniżej 80 m/s^2 , przeznaczonego do bardzo drobnego mielenia tlenku chromu. Syntezę konstrukcji tego młyna zrealizowano na podstawie wyników badań wykonanych w młynie modelowym. Poprawność syntezy potwierdziła eksploatacja młyna.

1. Wprowadzenie

Produkowany w Zakładach Chemicznych „Alwernia” tlenek chromu, wymaga zmielenia do pozostałości na sicie 0,063 mm poniżej 0,05%. Do końca 2000 roku tlenek chromu mielono w czterech młynach grawitacyjnych o działaniu okresowym. Czas mielenia jednego ładunku wynosił 4 godziny. Łączna pojemność komór młynów wynosiła $9,6 \text{ m}^3$, moc 68 kW. Młyny te miały ręczną uciążliwą obsługę, emitowały hałas o natężeniu 95-100 dBA, pyliły, a często nie można było w nich uzyskać wymaganego uziarnienia zmielonego tlenku chromu.

Skąpe informacje literaturowe [3, 13] wskazują, że tlenek chromu można mleć efektywniej, w sposób ciągły, w znanych klasycznych młynach wibracyjnych. Młyny te cechuje jednak wysoka szkodliwość oddziaływania na otoczenie (emisją hałasu 95-110 dBA i przenoszenie obciążeń dynamicznych na podłoże). Szkodliwość powodowana jest: wysoką częstotliwością drgań zespołu roboczego młyna 17-24 Hz, dużym przyspieszeniem ruchu drgającego – $100\text{-}350 \text{ m/s}^2$, [1].

* Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

Znacznie mniejszą szkodliwość oddziaływania na otoczenie, mają nowe konstrukcje młynów obrotowo-wibracyjnych i wibracyjnych. Młyny te pracują przy częstotliwości drgań 10-16 Hz, przyspieszeniu ruchu drgającego 60-80 m/s². Szeereg takich laboratoryjnych i przemysłowych młynów opracowano w Katedrze UT i OŚ AGH w Krakowie [1, 2, 4, 5, 6, 7]. Wykonano je z tanich materiałów konstrukcyjnych, bez układów cieczowego chłodzenia łożysk, zwykle bez fundamentów. Sprawdzono już kilkanaście prototypów tych młynów, w tym młyna MOW-H-200 o pojemności komory 200 dm³, mocy 12,5 kW zastosowanego do mielenia tlenku glinu o uziarnieniu 90% poniżej 8 µm [6], oraz młyna MOW-E-125 o pojemności komory 125 dm³, mocy 7,5 kW, przeznaczonego do mielenia dolomitu o wydajności 0,1-0,3 t/godz i uziarnieniu 90% poniżej 0,040 mm [5, 7].

Analiza parametrów importowanych młynów wibracyjnych wskazywała, że żaden z nich nie spełnia wszystkich warunków założonych przez ZCh „Alwernia”, zwłaszcza warunków dotyczących szkodliwości oddziaływania na otoczenie.

Natomiast, wyniki badań mielenia tlenku chromu, wykazały [8, 12], że proces mielenia tlenku chromu na sucho zachodzi efektywniej przy niskiej częstotliwości drgań 8-14 Hz. To oznaczało, że do mielenia tlenku chromu na sucho można zastosować młyn wibracyjny o niskiej częstotliwości drgań i znacznie mniejszej szkodliwości oddziaływania na otoczenie.

Praca zawiera syntezę konstrukcji przemysłowego młyna wibracyjnego o niskiej częstotliwości drgań, przeznaczonego do bardzo drobnego mielenia tlenku chromu na sucho z ewentualną możliwością adaptacji do mielenia na mokro.

2. Kryteria, dane wyjściowe do syntezy konstrukcji

Zamawiający młyn ZCh „Alwernia” podały następujące wymagania dotyczące opracowywanego młyna wibracyjnego, które są danymi do syntezy :

1. Wymagania technologiczne: wydajność młyna 200±20 kg/godz, uziarnienie: nadawy poniżej 10 % pozostałości na sicie 0,5 mm, produktu mielenia nie więcej niż 0,05 %, pozostałości na sicie 0,063 mm, dopuszczalna ilość zanieczyszczeń żelaza i związków żelaza poniżej 0,015%.
2. Wymagania BHP: całkowita likwidacja ręcznej obsługi młyna, emisja hałasu maksimum 85 dBA, obciążenia dynamiczne na podłoże o możliwie jak najmniejszych wartościach – zapewniające komfort pracy obsługi młyna, całkowita eliminacja emisji pyłu.
3. Jednostkowe zużycie energii poniżej obecnego (około 200 kWh/Mg).
4. Serwis młyna i układu mielącego przez firmę krajową.

3. Procedura syntezy konstrukcji młyna

Na rys. 1 podano procedurę syntezy konstrukcji prototypowego młyna wibracyjnego.



Rys. 1. Procedura syntezy konstrukcji prototypowego młyna wibracyjnego

Pierwszy – wyjściowy punkt procedury syntezy przedstawiono szczegółowo w rozdziale 2.

3.1. Wyniki badań własności fizycznych nadawy. Wyznaczenie parametrów młyna modelowego

Skład ziarnowy nadawy, tlenku chromu przed mieleniem oznaczony według PN/H-04933 „Analizy sitowe” podano w tab. 1 [8, 12]:

Tab. 1. Uziarnienie tlenku chromu przed mieleniem

Klasa, μm	+200	200-71	71-63	63-56	56-45	-45
Udział, %	15,85	11,79	1,18	0,06	1,10	70,02

Gęstość nasypowa nadawy w stanie luźnym oznaczona według PN-89/H-04930 wynosi $0,81 \text{ g/cm}^3 \pm 0,55\%$.

Dla młyna modelowego wyposażonego w komory o średnicy 123 i 210 mm, na podstawie pracy [10] oraz uziarnienia i gęstości nasypowej nadawy oraz wymagań uziarnienia produktu mielenia, dobrano wszystkie niezbędne parametry takie jak: dwa rodzaje materiału mielników, pięć zestawów mielników, dwa poziomy częstotliwości drgań, jeden poziom amplitudy drgań, cztery poziomy czasu mielenia.

3.2. Badania wstępne. Wyznaczenie najkorzystniejszych parametrów procesu mielenia

Niektóre wyniki badań mielenia tlenku chromu podano w tab.2 [12].

Tab. 2. Program i wyniki badań wstępnych przeprowadzonych w komorze o średnicy 210 mm

Parametry procesu mielenia	Symbol próby				
	27	28	29	30	31
Częstotliwość drgań, Hz	12	12	10	10	10
Czas mielenia, min	15	15	15	10	10
Materiał mielników	Korund	Korund	Stal	Stal	Stal
Udział klasy +0,063 mm [%]	0,062	0,023	0,049	0,039	0,043
Udział klasy +0,045 mm [%]	0,232	0,051	0,199	0,081	0,080

Na podstawie otrzymanych wyników badań wyznaczono następujące parametry procesu mielenia vibracyjnego na sucho tlenku chromu:

- mielniki ceramiczne: częstotliwość drgań 12 Hz, przyspieszenie $79,6 \text{ m/s}^2$,
- mielniki stalowe: częstotliwość 10 Hz, przyspieszenie $55,3 \text{ m/s}^2$.

3.3. Badania zasadnicze. Wyznaczenie najkorzystniejszych parametrów młyna

Niektóre wyniki badań mielenia tlenku chromu podano w tab.2 [8].

Tab. 3. Program i wyniki badań zasadniczych przeprowadzonych w komorze o średnicy 210 mm

Parametry procesu mielenia	Symbol próby				
	AL20	AL37	AL41	AL42	AL48
Częstotliwość drgań, Hz	10	10	12	10	12
Czas mielenia, min	15	15	10	10	15
Materiał mielników	Stal	Stal	Stal	Stal	Korund
Udział klasy +0,063 mm [%]	0,062	0,033	0,050	0,021	0,070
Udział klasy +0,045 mm [%]	0,232	0,034	0,041	0,034	0,240

Dla młyna przemysłowego przewidziano identyczne parametry ruchu drgającego: częstotliwość drgań 10 i 12 Hz, amplitudę drgań 14 mm. Średnicę komory

przyjęto ze względów konstrukcyjnych 300 ± 10 mm. Wpływ średnicy komory uwzględniono w następujący sposób [4]:

$$Q_j = k_{mi} D^{ci}, \quad (1)$$

gdzie: Q_j – wydajność z jednostki objętości komory młyna – dm^3 , k_{mi} – współczynnik uwzględniający wpływ stałych parametrów młyna, D – średnica komory młyna – m, ci – współczynnik uwzględniający wpływ zestawu mielników.

Dla zadanej wydajności młyna objętość komór obliczono z wyrażenia [8]:

$$V_{k,s} = \frac{Q}{k_{k,s} q_{jk,s}}, \quad (2)$$

gdzie: $V_{k,s}$ – objętość komór młyna dm^3 , Q – wydajność młyna – 200 kg/godz , $k_{k,s}$ – współczynnik ciągłości procesu dla mielników korundowych i stalowych, $q_{jk,s}$ – współczynnik wydajności jednostkowej komory młyna – kg/godz dm^3 .

W młynie przewidziano dwie identyczne komory, z możliwością połączenia równoległego lub szeregowego. Łączna pojemność komór wyznaczona z wyrażenia (2) wynosi $150 \pm 2,5 \text{ dm}^3$. Pozostałe parametry technologiczne młyna wyznaczone w funkcji pojemności komór są następujące:

- wymiary wewnętrzne komory $\Phi 292 \times 1120 \text{ mm}$,
- mielniki stalowe: masa w jednej komorze $255 \pm 15 \text{ kg}$, w młynie 510 kg ,
- mielniki korundowe: masa w jednej komorze $145 \pm 10 \text{ kg}$, w młynie 290 kg ,
- tlenek chromu: masa w jednej komorze $20 \pm 2,5 \text{ kg}$, w młynie 40 kg ,
- zapotrzebowanie powietrza aeracyjnego około $0,2 \pm 0,05 \text{ m}^3/\text{kg}$,
- zainstalowana moc młyna $2 \times 15 \text{ kW}$.

3.4. Opracowanie konstrukcji, projekt, opis budowy młyna.

Dobór wibroizolacji i osłony

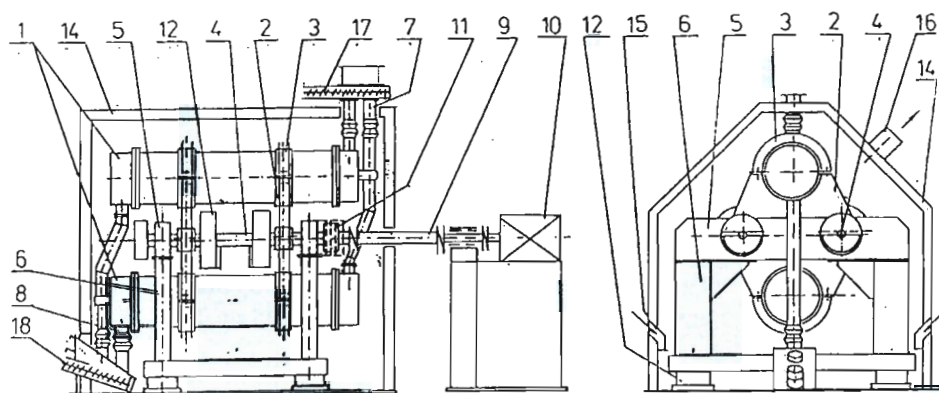
Dla zapewnienia stabilności parametrów kinematycznych, do napędu zespołu roboczego młyna, zastosowano wibrator kinematyczny w postaci dwóch wałów połączonych przekładnią łańcuchową. Cztery zestawy wymiennych obciążników usytuowanych na obu wałach wibratora, statycznie wyrównowazają zespół roboczy młyna. Oprawy łożysk wibratora umieszczone są w belkach wspornikowych, w elementach sprężystych o regulowanej sztywności [9, 11].

Zgodnie z propozycją ZCH „Alwernia”, przewidziano możliwość zmiany konstrukcji wibratora z kinematycznego na bezwładnościowy – dwumasowy, niezbędnej do mielenia tlenku chromu na mokro.

Po skonstruowaniu zespołu roboczego, belek i ramy młyna obliczono masę młyna i dobrano układ sześciu wibroizolatorów sprężynowo-gumowych.

Ośłona dźwiękoszczelno-izolacyjna zbudowana jest z dwóch połówek z otworami na wały napędowe, wlot, wylot materiału i powietrza chłodzącego młyn. Ośłona jest konstrukcją szkieletową z blachami stalowymi usytuowanymi na zewnątrz, a dźwiękochłonną wykładziną wewnątrz. Przestrzeń pomiędzy zewnętrzną blachą a wewnętrzną wykładziną wypełniają warstwy materiałów dźwiękochłonnych i dźwiękoizolacyjnych. Rozwiązanie konstrukcyjne młyna w wersji z równoległym połączeniem komór przedstawiono na rys. 2.

Młyn wibracyjny ma dwie jednakowe komory 1, umieszczone w dwóch wspornikach 2 umocowanych obejmami 3. We wspornikach 2 umieszczono obsady łożysk wibratora. Obsady łożysk wałów 4 umieszczone są w belkach 5, w elementach sprężystych o regulowanej sztywności, przymocowanych do ramy 6. W komorach znajdują przegrody sitowe i pokrywy z króćcami wlotu nadawy 7 i wylotu zmielonego tlenku 8.



Rys. 2. Młyn wibracyjny MW-A-150. Opis w tekście.

W pokrywach z króćcami wylotu umieszczono mechanizm regulacji poziomu tlenku chromu w komorach. Wały 4 wibratora napędzane są przez wały kardana 9 z silników 10. Ich synchronizację zapewnia przekładnia łańcuchowa 11. Na wałach umieszczono obciążniki 12 wyrównowazające statycznie zespół roboczy młyna. Rama młyna umieszczona jest na sześciu wibroizolatorach 13. Młyn umieszczony jest w osłonie 14, wyposażonej w osłonięte wloty powietrza 15. Na osłonie znajduje się króciec wylotu powietrza 16. Młyn zasilany jest zasilaczem ślimakowym 17, a zmielony materiał odbierany z młyna jest przenośnikiem odbierającym 18.

4. Podsumowanie. Wnioski

Podczas próbnej eksploatacji młyna w ZCH „Alwernia” przy mieleniu tlenku chromu na sucho zmielono w nim: 7,3 tony tlenku - przy równoległej pracy komór oraz 1,1 tony przy pracy szeregowej. Średnia wydajność młyna dopasowana do wydajności pieca wynosiła 150 kg/godz. Emisja hałasu wynosiła 83,8 dBA [11], a poziom drgań przenoszonych na podłoże był tak minimalny, że obsługa go nie wyczuwała.

W 2000 roku przystosowano młyn do mielenia na mokro i w tej wersji jest tam obecnie eksploatowany. W 2001 roku zmielono w nim około 300 ton tlenku chromu – uzyskując wymaganą wydajność i uziarnienie. Zespół roboczy młyna napędza tylko jeden silnik o mocy 15 kW.

To potwierdza, że opracowany młyn spełnił przyjęte kryteria syntezy.

Literatura

1. **Drzymala Z., Dzik T., Guzik J., Kaczmarczyk S., Kurek B., Sidor J.:** Badania i podstawy konstrukcji młynów specjalnych, PWN Warszawa 1992, 213 str.
2. **Drzymala Z., Sidor J.:** Badania możliwości wykorzystania zamierzonych drgań w wybranych procesach i urządzeniach wibracyjnych. „Structures – Waves – Biomedical Engineering“ Vol. VIII – Structural Acoustics & Vibrations for Technology, Edited by Polish Acoustical Society Dep. Cracow, Cracow, 1999, s.127-148.
3. **Palla-Schwingmühlen.** Materiały firmowe firmy KHD Humboldt Wedag AG. Köln 1994.
4. **Sidor J.:** Wpływ średnicy komory na wydajność młynów z mielnikami swobodnymi. II Konf. „Problemy w Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Hutniczych i Ceramicznych”. Kraków-Mogilany 1984, Wyd. AGH Kraków 1984, s. 135-144.
5. **Sidor J.:** Przybliżona metoda opracowywania konstrukcji przemysłowych młynów obrotowo-wibracyjnych. Zesz. Nauk AGH nr 1159, Mechanika z. 13, Kraków 1988, s. 49-61.
6. **Sidor J.:** Wstępne badania prototypowego przemysłowego młyna obrotowo-wibracyjnego do bardzo drobnego mielenia tlenku glinu. Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii. Nr 26. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1992, s. 57 – 64.

7. **Sidor J.:** Rozwój konstrukcji młynów z mielnikami swobodnymi i złożonym ruchu komory Zeszyty Naukowe AGH, Mechanika t.13, zeszyt nr 4, 1994, s. 585- 601.
8. **Sidor J., Drzymała Z., Kielski A., Jodłowski W. i inni:** Dobór parametrów młyna wibracyjnego o wydajności 200 kg/godz do mielenia na sucho tlenku chromu. Praca wykonana w KUTiOŚ AGH, Kraków 1998 (niepublikowana).
9. **Sidor J., Drzymała Z., Golik L., Pakuła A. i inni:** Opracowanie i wykonanie przemysłowego młyna wibracyjnego o wydajności 200 kg/godz do mielenia na sucho tlenku chromu. Praca wykonana w KUTiOŚ AGH, Kraków 1998 (niepublikowana).
10. **Sidor J.:** Wstępne badania wpływu niskiej częstotliwości drgań młyna wibracyjnego na efektywność procesu mielenia. Zesz. Nauk. Pol. Śl. 1998 Nr 1399, Górnictwo z. 238 s. 305-319.
11. **Sidor J., Majchrzak T.:** Wstępne badania emisji hałasu przez przemysłowy młyn wibracyjny o niskiej częstotliwości drgań. Structural Acoustic and Mechanics for Environmental Protection 2000 Vol.IX. Ed. By Polish Acoustic Society, Dep. Cracow, Kraków 2000 s. 45-48.
12. **Sidor J.:** Wstępne badania bardzo drobnego mielenia tlenku chromu w młynie wibracyjnym o niskiej częstotliwości drgań. Inżynieria Chemiczna i Procesowa, t.22 z.3E. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2001 s. 1255-1260.
13. **Vibrating Ball Mills** – Materiały firmowe Allis Chalmers Cement & Mining Systems Division- Milwaukee, Wisconsin USA 1975.

SYNTHESIS ON CONSTRUCTION OF THE INDUSTRIAL VIBRATION MILL OF LOW FREQUENCY FOR DRY CHROMIA GRINDING

Abstract: The construction and application of a prototype vibration mill for chromia grinding is described. The mill is characterised by low frequency of its work (12 Hz) and low acceleration of 80 m/s^2 to which grinding media are subjected. The construction on the model experiments. Results of the mill utilisation confirm correctness of the applied guidelines.

Franciszek Siemieniako*, Tomasz Huścio*, Kazimierz Dzierżek*

AUTOMATYZACJA PROCESU DOZOWANIA I MIESZANIA TRZECH CIECZY

Streszczenie: W pracy opisano układ realizujący sterowanie procesem dozowania i mieszania trzech cieczy. Przedstawiony układ umożliwia mieszanie cieczy z trzech lub dwóch wybranych zbiorników zgodnie z przyjętym jednym z czterech wariantów.

1. Opis działania procesu

W przemyśle w wielu procesach zachodzi konieczność mieszania i dozowania cieczy. Przyjęty do prezentacji model procesu jest stosunkowo złożonym przykładem umożliwiającym prezentację sterowania za pomocą PLC. Proces dozowania i mieszania cieczy, którego schemat funkcjonalny przedstawiono na rysunku 2, umożliwia mieszanie cieczy z trzech lub dwóch wybranych zbiorników.

Warunki rozpoczęcia procesu:

1. Włączanie przycisku **W0 - START**.
2. Wybór zbiorników z cieczami do mieszania przez wciśnięcie określonych przycisków:
S1 – dla zbiornika Zb1,
S2 – dla zbiornika Zb2,
S3 – dla zbiornika Zb3.
Np.: wciśnięcie przycisków S1 i S2 umożliwi mieszanie cieczy z zbiorników Zb1 i Zb2, wciśnięcie przycisków S1, S2 i S3 umożliwi mieszanie cieczy z zbiorników Zb1, Zb2 i Zb3.
3. Sprawdzenie w poszczególnych zbiornikach ilości cieczy wystarczającej do prawidłowego przebiegu procesu.

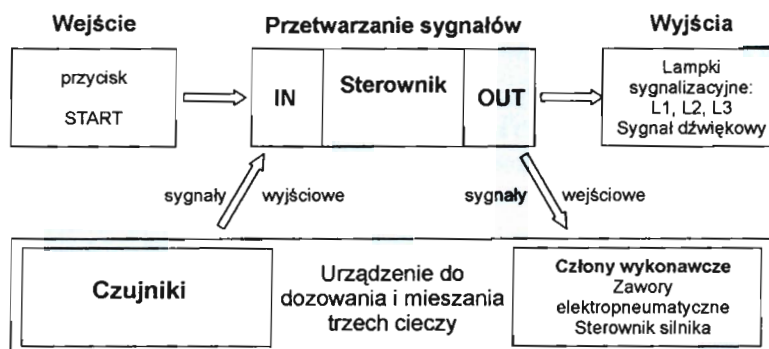
* Katedra Techniki Automatyzacji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45c, 15-351 Białystok

4. Sprawdzenie czy dozowniki **Dz1, Dz2, Dz3** odpowiadające wybranym zbiornikom są puste – czujniki **Cz2, Cz4, Cz6**.

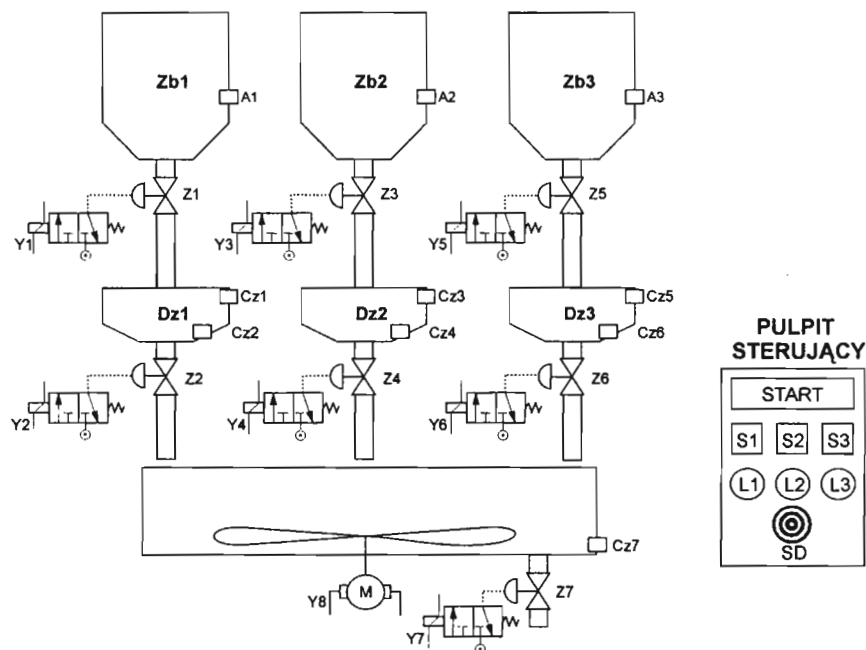
Czujniki **A1, A2, A3** na bieżąco kontrolują minimalny poziom cieczy znajdujących się w poszczególnych zbiornikach niezbędny do wykonania procesu technologicznego. Jeżeli sterownik otrzyma od czujników sygnał określający zbyt mały poziom lub brak cieczy w zbiorniku, włączona zostaje lampka sygnalizacyjna minimalnego poziomu cieczy – **L1, L2, L3**, odpowiednia dla określonego zbiornika. Sygnalizacja wyłączy się po uzupełnieniu brakującej cieczy.

Po spełnieniu powyższych warunków odpowiednia ilość cieczy odmierzana jest w dozownikach. Po napełnieniu dozowników zawory spustowe dozowników (**Z1, Z3** lub **Z5**) są zamykane, a otwierane są zawory spustowe dozowników (**Z2, Z4** lub **Z6**). Zawartość dozowników zlewana jest jednocześnie. Po zlaniu cieczy z dozowników zamykane są zawory spustowe dozowników i na okres T [s] włączane jest mieszadło **Z8**. Po upływie czasu T mieszadło zostaje włączone i otwiera się zawór **Z7**. Po zlaniu mieszaniny z mieszalnika zawór **Z7** zostaje zamknięty. Sygnał dźwiękowy **SD** informuje o zlewaniu mieszaniny z mieszalnika. Po całkowitym opróżnieniu mieszalnika, zasygnalizowanym wyłączeniem sygnału dźwiękowego, wyłączamy przycisk **START**.

Schemat blokowy sterowania procesem dozowania i mieszania trzech cieczy pokazano na rysunku 1.



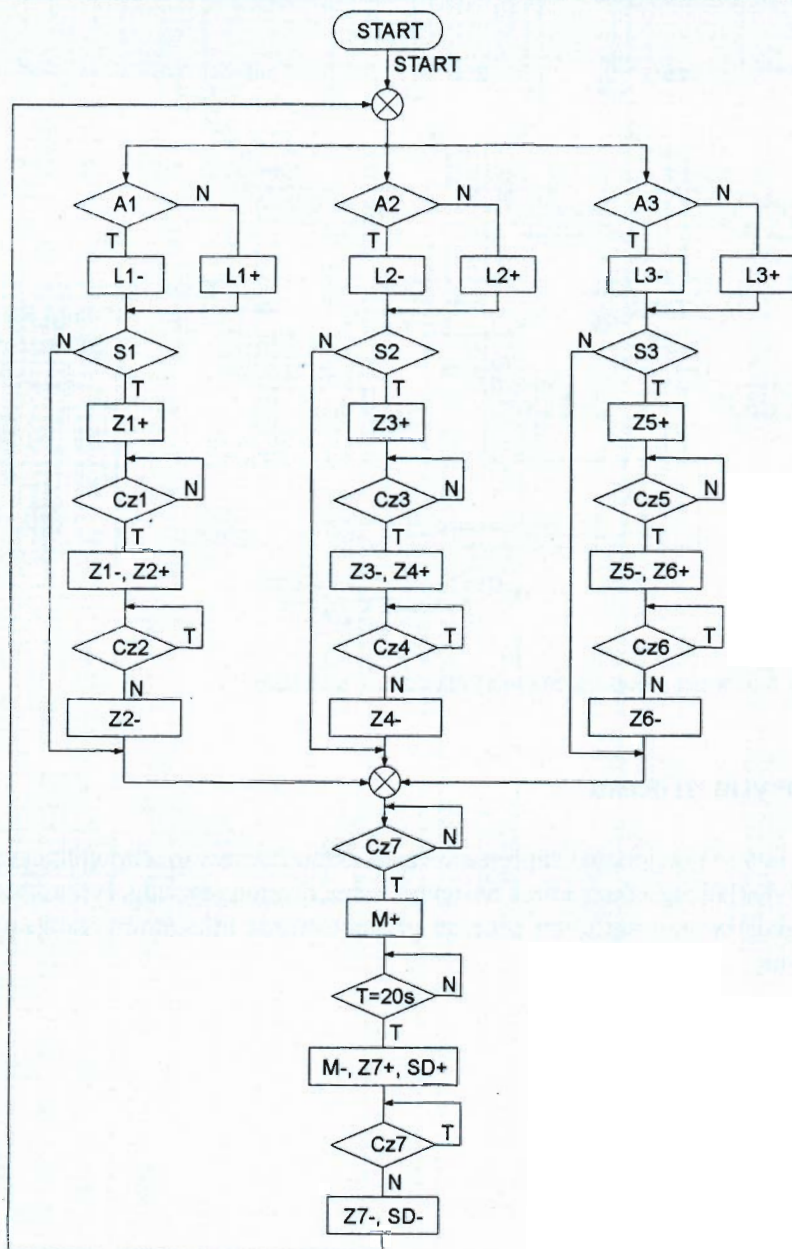
Rys. 1. Schemat blokowy sterowania procesem dozowania i mieszania cieczy



Rys. 2. Schemat procesu dozowania i mieszania trzech cieczy

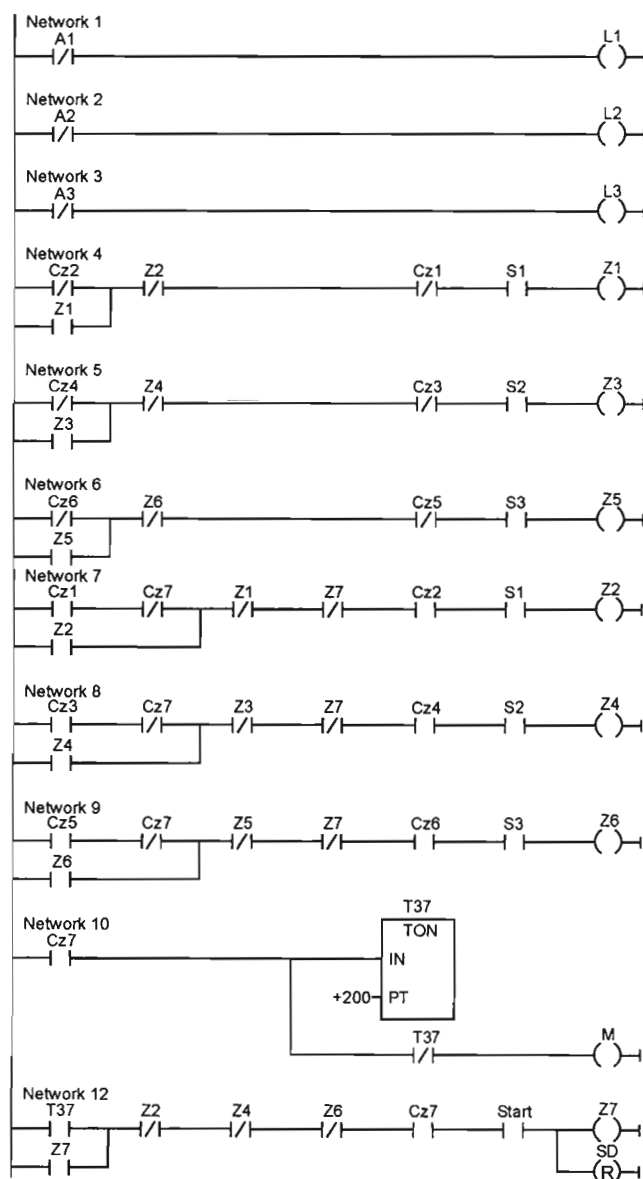
2. Algorytm procesu

Poprawne i racjonalne zaprojektowanie układu sterowania dowolnego procesu wymaga dokładnego poznania a następnie opracowania jego algorytmu. Na rysunku 3 przedstawiono algorytm procesu przygotowania mieszaniny zapisany siecią operacyjną.



Rys. 3. Algorytm procesu przygotowania mieszanki

3. Algorytm sterowania



Rys. 4. Program sterujący w języku LAD

Automatyzacja procesu produkcyjnego za pomocą PLC sprowadza się do wyznaczenia algorytmu sterowania, jego zapisu za pomocą odpowiedniego języka programowania i wprowadzenia go do jednostki centralnej.

Algorytm sterowania określa kolejność realizacji instrukcji programu (warunki logiczne przechodzenia od jednej instrukcji programu do następnej) sterownika PLC. Sterownik steruje realizacją procesu zgodnie z założonym algorytmem. Program sterowania procesem dozowania i mieszania cieczy w języku LAD (Ladder Diagram) dla algorytmu procesu z rysunku 3 przedstawiono na rysunku 4. Oznaczenia występujące w algorytmie zestawiono w tabeli 1.

4. Sterowanie procesem dozowania i mieszania cieczy

Tab. 1. Lista zmiennych

Adres	Oznaczenie	Komentarz
I0	START	przycisk START
I1	S1	przycisk wyboru zbiornika Zb1
I2	S2	przycisk wyboru zbiornika Zb2
I3	S3	przycisk wyboru zbiornika Zb3
I4	L1	lampka sygnalizacyjna minimalnego poziomu cieczy w Zb1
I5	L2	lampka sygnalizacyjna minimalnego poziomu cieczy w Zb2
I6	L3	lampka sygnalizacyjna minimalnego poziomu cieczy w Zb3
I7	A1	czujnik minimalnego poziomu cieczy w zbiorniku Zb1
I8	A2	czujnik minimalnego poziomu cieczy w zbiorniku Zb2
I9	A3	czujnik minimalnego poziomu cieczy w zbiorniku Zb3
I10	Cz1	czujnik maksymalnego poziomu cieczy w dozowniku Dz1
I11	Cz2	czujnik minimalnego poziomu cieczy w dozowniku Dz1
I12	Cz3	czujnik maksymalnego poziomu cieczy w dozowniku Dz2
I13	Cz4	czujnik minimalnego poziomu cieczy w dozowniku Dz2
I14	Cz5	czujnik maksymalnego poziomu cieczy w dozowniku Dz3
I15	Cz6	czujnik minimalnego poziomu cieczy w dozowniku Dz3
I16	Cz7	czujnik minimalnego poziomu cieczy w mieszalniku
OA0	Z1	otwarcie zaworu Z1 opróżniającego zbiornik Zb1
OA1	Z2	otwarcie zaworu Z2 dozownika Dz1
OA2	Z3	otwarcie zaworu Z3 opróżniającego zbiornik Zb2
OA3	Z4	otwarcie zaworu Z4 dozownika Dz2
OA4	Z5	otwarcie zaworu Z5 opróżniającego zbiornik Zb3
OA5	Z6	otwarcie zaworu Z6 dozownika Dz3
OA6	Z7	otwarcie zaworu Z7 opróżniającego mieszalnik
OA7	M	włączenie silnika mieszalnika M
OA8	SD	sygnał dźwiękowy

Układ sterowania z programowalną pamięcią realizowany jest przez sterownik SYSMAC CQM1-CPU45-E firmy OMRON i komputer osobisty. Sterownik komunikuje się z komputerem osobistym pracującym w środowisku graficznym Windows, na którym zainstalowane jest oprogramowanie umożliwiające programować sterownik – SYSWIN 3.4. Komputer z zainstalowanym oprogramowaniem łączy się ze sterownikiem – kablem do komunikacji szeregowej (null modem) zgodnej z protokołem RS 232C.

5. Podsumowanie

Automatyzacja procesu dozowania i mieszania trzech cieczy rozpoczyna się od sporządzenia opisu słownego oraz schematu funkcjonalnego procesu. Następnie opracowano algorytmu procesu, który jest jednym z elementów decydujących o wyborze odpowiedniego sterownika, czujników pomiarowych, elementów wykonawczych, a także języka programowania. Ostatnim etapem projektowania jest opracowanie algorytmu oraz programu sterowania procesem. Przedstawiony układ sterowania jest potwierdzeniem uniwersalności i dużych możliwości (wariantowości) sterownia procesów za pomocą PLC.

Literatura

1. **Łukasik Z., Seta Z.:** „Programowalne sterowniki PLC w systemach sterowania przemysłowego”. Radom 2000.
2. **Kwaśniewski J.:** „Programowalne sterowniki przemysłowe w systemach sterowania”. Kraków 1999.

VISUALIZATION OF TWO FLUIDS MIXING PROCESS

Abstract: In the paper there is described a system realizing the controlling of three liquids dosing and mixing process. Introduced system enable to mix liquids from three or two chosen containers in accordance with accepted version – one of four possible.

Elżbieta Skorupska*

BADANIA KINETYKI SUSZENIA SŁOMY I ODPADÓW DRZEWNYCH PRZEZNACZONYCH NA OPAŁ

Streszczenie: Badano kinetykę suszenia produktów odpadowych pochodzenia roślinnego – słomy zbożowej w temperaturze 70, 90, 104, 110, 130 i 140°C, słomy rzepakowej w temperaturze 80, 90, 100, 120, 140°C, wiórów i trocin sosnowych i dębowych w temperaturze 100, 120 i 140°C. Krzywe suszenia opisano równaniami empirycznymi. Wyniki badań mogą mieć zastosowanie do obliczeń urządzeń suszarniczych.

1. Wprowadzenie

Zainteresowania ekologią i odnawialnymi źródłami energii spowodowały dynamiczny rozwój nauki i techniki z tego zakresu. Powstają nowe urządzenia do brykietowania odpadów roślinnych z przeznaczeniem na opał. Decydujący wpływ na efektywność procesu brykietowania i spalania oraz na jakość brykietów ma m.in. wilgotność surowca. Proponuje się [1], aby surowiec miał wilgotność z zakresu do 20%. Znajomość kinetyki suszenia produktów odpadowych pochodzenia roślinnego, na przykład słomy zbożowej i rzepakowej oraz wiórów i trocin sosnowych i dębowych, jak też krzywych suszenia uogólnionych dla słomy i odpadów sosnowych i dębowych, pozwoli zaprojektować urządzenia do wysuszenia materiału wilgotnego.

2. Metodyka badań

Materiałem do badań była słoma zbożowa o wilgotności ok. 52%, słoma rzepakowa o wilgotności ok. 55% oraz wióry i trociny sosnowe i dębowe o wilgotności ok. 45%. Wymiary cząstek były następujące:

* Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok

- słomy zbożowej: długość – 5-20 mm; szerokość – 1-2 mm;
- słomy rzepakowej: długość – 10-30 mm; szerokość – 1-5mm; grubość – do 4 mm;
- wiórów sosnowych: długość – 8-30 mm; szerokość – 2-12 mm; grubość – do 1 mm;
- wiórów dębowych: długość - 5-25 mm; szerokość – 2-10 mm; grubość – do 1 mm;
- trocin sosnowych: długość – do 8 mm; szerokość – do 2 mm; grubość – do 1 mm;
- trocin dębowych: długość – do 5 mm; szerokość – do 2 mm; grubość – do 1 mm.

Badania były prowadzone w laboratoryjnej wagosuszarce WS30 obsługiwanej przez program "WAGA".

Badania kinetyki suszenia słomy zbożowej prowadzono w temperaturach: 70, 90, 104, 110, 130 i 140°C [2], słomy rzepakowej w temperaturach: 80, 90, 100, 120 i 140°C, zaś wiórów i trocin sosnowych i dębowych w temperaturach: 100, 120 i 140°C [3].

Źródłem ciepła w wagosuszarce były promienniki o mocy ok. 100 W.

Słoma zbożowa była suszona w warstwie ok. 5 mm, słoma rzepakowa w warstwie od 5 do ok. 10 mm, zaś wióry i trociny w warstwie ok. 10 mm. Masa materiału suszonego wynosiła ok. 0,002 kg.

Pomiary procentowych ubytków wody były dokonywane co 15 sekund z dokładnością 0,01%.

Otrzymane wyniki z programu wagosuszarki przedstawiono w formie krzywych suszenia (zredukowanej zawartości wody u_{red} w funkcji czasu τ).

Początkową zawartość wody w materiale u_0 obliczono ze wzoru:

$$u_0 = \frac{w_0}{(100 - w_0)} \text{ [kg wody/kg s.s.],} \quad (1)$$

gdzie:

w_0 – początkowa wilgotność materiału, %,

oraz zawartość wody w materiale w danej chwili u_i ze wzoru:

$$u_i = \frac{w_0 - w_{ub}}{[100 - (w_0 - w_{ub})]} \text{ [kg wody/kg s.s.]} \quad (2)$$

gdzie:

w_{ub} – procentowe ubytki wody, %,

w_0 – początkowa wilgotność materiału, %.

Zredukowaną zawartość wody u_{red} obliczono ze wzoru:

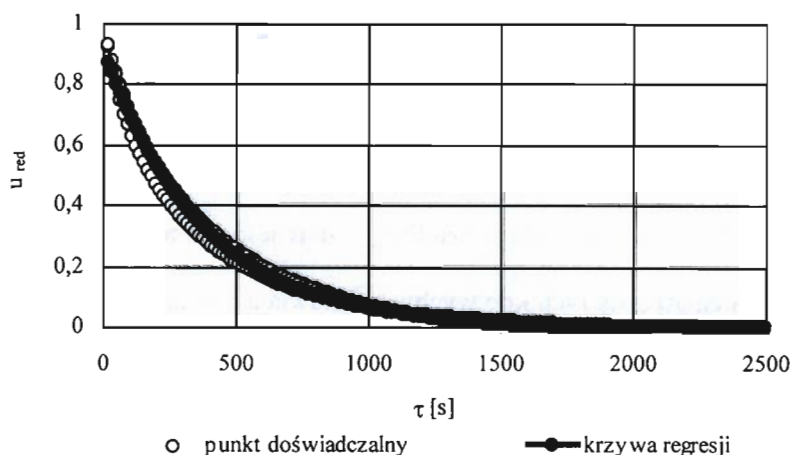
$$u_{red} = \frac{u_i}{u_0} . \quad (3)$$

3. Wyniki badań

Za pomocą regresji wielokrotnej, programu STATISTICA 5.0 i STATGRAPHICS 7.0, sformułowano równania empiryczne opisujące te krzywe.

3.1. Wpływ temperatury na kinetykę konwekcyjnego suszenia słomy zbożowej

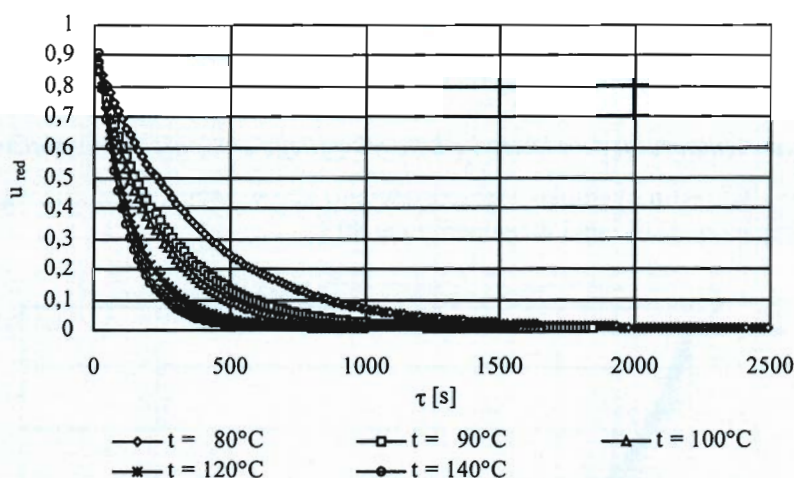
Przykładowo na rysunku 1 przedstawiono krzywe suszenia z krzywą regresji słomy rzepakowej suszonej w temperaturze 80°C.



Rys. 1. Krzywe suszenia słomy rzepakowej w temperaturze 80°C

Rysunek 2 przedstawia krzywe suszenia słomy rzepakowej w badanych temperaturach, z których wynika, że czas suszenia zależy od temperatury nierównomiernie. W temperaturze 80°C schło do równowagowej zawartości wody 2490 s (41,5 min), w temperaturze 90°C czas się wydłużył do 1845 s (30,75 min), w tem-

peraturze 100°C wyniósł 1650 s (27,5 min), w temperaturze 120°C suszyło się 1545 s (25,75 min) oraz w temperaturze 140°C 1005 s (16,75 min). Jak widać czasy suszenia do wilgotności równowagowej w temperaturach 90, 100 i 120°C są podobne i są krótsze o 26 % od czasu suszenia w temperaturze 80°C i dłuży o ok. 22% od czasu suszenia w temperaturze 140°C. Biorąc pod uwagę ekonomiczność procesu można wybrać temperaturę procesu suszenia w zależności od rodzaju źródła ciepła i temperatury suszenia, uwzględniając że czas suszenia w temperaturze 140°C stanowi 40% czasu suszenia w temperaturze 80°C, a czasy suszenia w temperaturach 90, 100 i 120°C są zbliżone.



Rys. 2. Krzywe suszenia słomy rzepakowej w zakresie temperatury 80 – 140°C

Opis matematyczny tych krzywych przedstawiają równania funkcji wykładniczej (4) - (8) zamieszczone w tabeli 1.

Tab. 1. Równania krzywych suszenia słomy rzepakowej w zakresie temperatur 80 – 140°C

Temperatura t [°C]	Równanie krzywej suszenia	Współczynnik korelacji R^2 [%]
80	$u_{red} = 0,0036194 + \exp(-0,0978749 - 0,0026874 \tau)$ (4)	99,67
90	$u_{red} = 0,0085697 + \exp(-0,130785 - 0,0039726 \tau)$ (5)	99,56
100	$u_{red} = 0,0111432 + \exp(-0,1136235 - 0,0053934 \tau)$ (6)	99,45
120	$u_{red} = 0,0157564 + \exp(-0,0585329 - 0,0069713 \tau)$ (7)	98,48
140	$u_{red} = 0,0108837 + \exp(0,0216222 - 0,0093176 \tau)$ (8)	98,45

3.2. Wpływ temperatury na kinetykę konwekcyjnego suszenia słomy

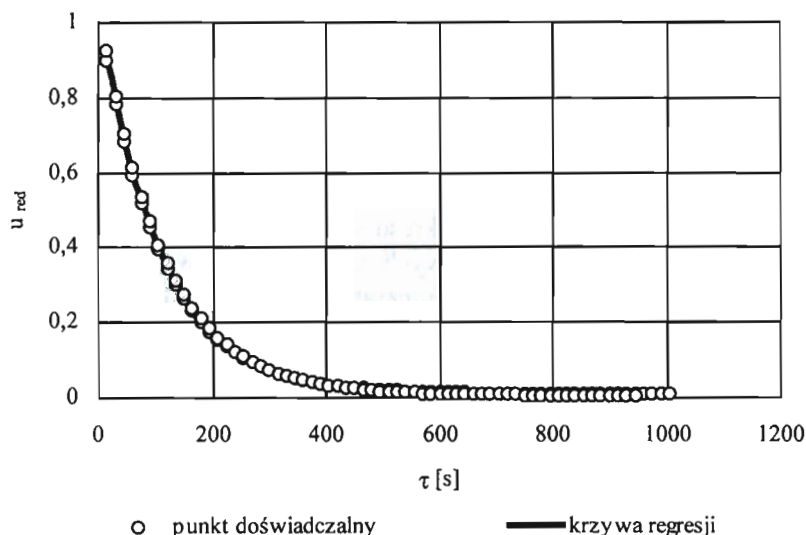
Kinetyki suszenia słomy rzepakowej i słomy zbożowej [2] w danej temperaturze przebiegają podobnie. Rysunek 3 przedstawia przykładowe krzywe suszenia słomy rzepakowej i zbożowej suszonych w temperaturze 140°C z krzywą regresji.

Na rysunku 4 przedstawiono krzywe suszenia słomy w temperaturach 80, 90, 100, 120 i 140°C. Przebieg krzywych suszenia jak i czas suszenia w poszczególnych temperaturach przedstawia się jak dla słomy rzepakowej.

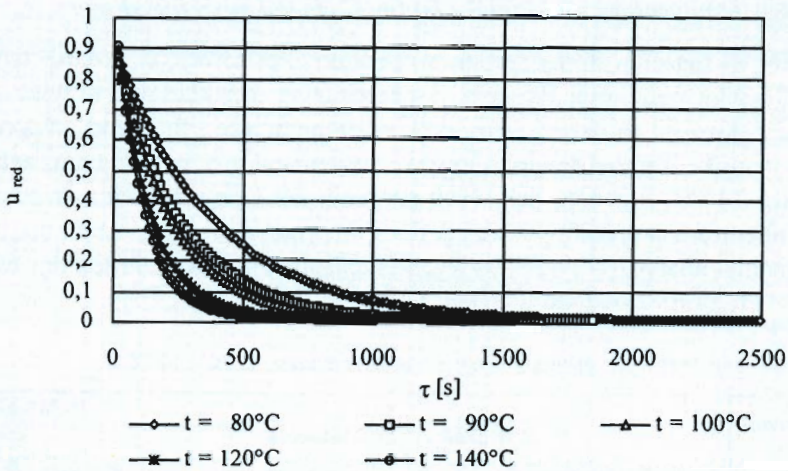
Opis matematyczny tych krzywych przedstawiają równania funkcji wykładniczej (9) – (13) zamieszczone w tabeli 2.

Tab. 2. Równania krzywych suszenia słomy w zakresie temperatur 80 – 140°C

Temperatura t [°C]	Równanie krzywej suszenia	Współczynnik korelacji R^2 [%]
80	$u_{red} = 0,0039452 + \exp(-0,100231 - 0,002607 \tau)$ (9)	99,67
90	$u_{red} = 0,0048317 + \exp(-0,1124777 - 0,0038353 \tau)$ (10)	99,93
100	$u_{red} = 0,0064372 + \exp(-0,096314 - 0,0045838 \tau)$ (11)	99,14
120	$u_{red} = 0,01211 + \exp(-0,0127303 - 0,0075163 \tau)$ (12)	98,84
140	$u_{red} = 0,0089727 + \exp(0,0359506 - 0,0092356 \tau)$ (13)	98,98



Rys. 3. Krzywe suszenia słomy w temperaturze 80°C



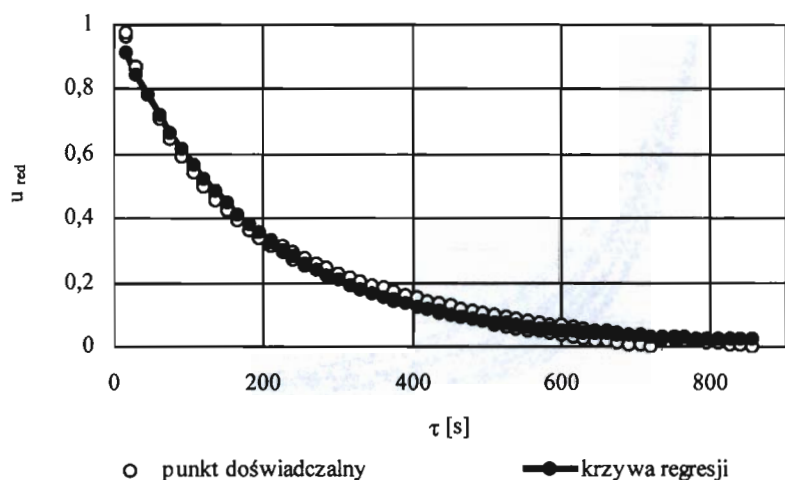
Rys. 4. Krzywe suszenia słomy w zakresie temperatury 80 – 140°C

3.3. Wpływ temperatury na kinetykę suszenia odpadów sosnowych i dębowych

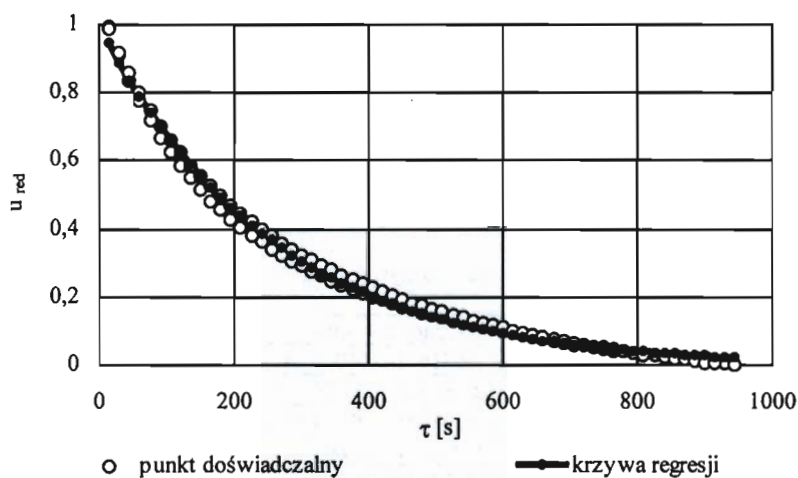
Na kinetykę suszenia odpadów sosnowych i dębowych (wiórów i trocin) ma wpływ temperatura [3]. Mimo różnicy w wielkościach cząstek wiórów i trocin można, uogólniając wióry i trociny jako odpady, opisać krzywe suszenia dla odpadów sosnowych i dębowych.

Przykładowe krzywe suszenia odpadów sosnowych i krzywą regresji suszonych w temperaturze 140°C przedstawia rysunek 5, zaś dla odpadów dębowych rysunek 6.

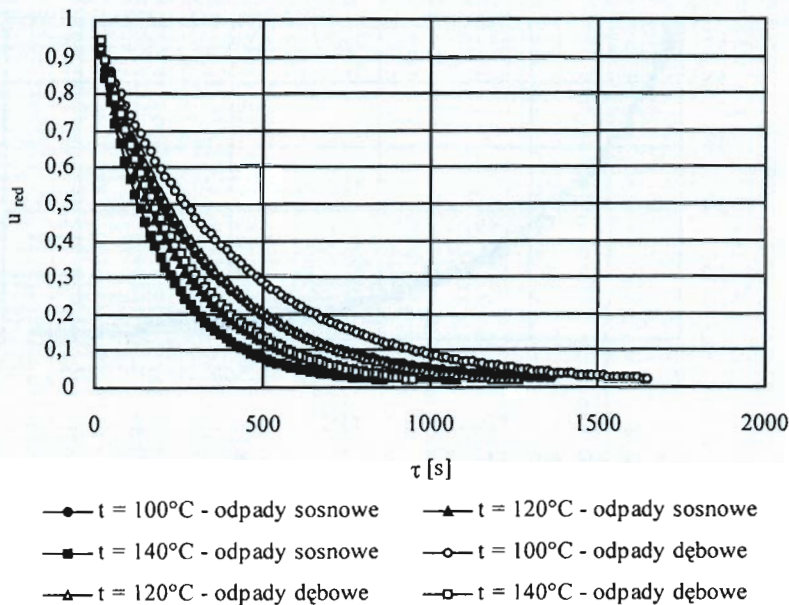
Wpływ temperatury suszenia odpadów sosnowych i dębowych na kinetykę procesu przedstawia rysunek 7. Z wykresu wynika, że krzywe suszenia odpadów sosnowych względem odpadów dębowych są przesunięte w czasie o wartość różnicy między krzywymi w kolejnych temperaturach suszenia 100, 120 i 140°C. Odpady sosnowe schną krócej a dębowe dłużej, stąd krzywa suszenia odpadów sosnowych w temperaturze 120°C ma przebieg podobny do krzywej suszenia odpadów dębowych w temperaturze 140°C, a w temperaturze 100°C podobna do krzywej w 120°C odpadów dębowych.



Rys. 5. Krzywe suszenia wiórów i trocin sosnowych w temperaturze 140°C



Rys. 6. Krzywe suszenia wiórów i trocin dębowych w temperaturze



Rys. 7. Krzywe suszenia odpadów sosnowych i dębowych w zakresie tempe

Równania funkcji wykładniczej (14) – (19) opisujące krzywe suszenia odpadów sosnowych i dębowych przedstawia tabela 3.

Tab. 3. Równania krzywych suszenia odpadów sosnowych i dębowych w zakresie temperatur 100-140°C

Temperatura $t [^{\circ}\text{C}]$	Równanie krzywej suszenia	Współczynnik korelacji $R^2 [\%]$
Odpady sosnowe		
100	$u_{\text{red}} = 0,0141004 + \exp(-0,0651612 - 0,00325 \tau)$ (14)	99,66
120	$u_{\text{red}} = 0,0132966 + \exp(-0,0418063 - 0,0042676 \tau)$ (15)	99,68
140	$u_{\text{red}} = 0,0128343 + \exp(-0,0207271 - 0,0053739 \tau)$ (16)	99,70
Odpady dębowe		
100	$u_{\text{red}} = 0,0059658 + \exp(-0,0479436 - 0,0024361 \tau)$ (17)	99,70
120	$u_{\text{red}} = 0,0005595 + \exp(-0,0167473 - 0,0031471 \tau)$ (18)	99,74
140	$u_{\text{red}} = -0,0014146 + \exp(0,0036104 - 0,0039459 \tau)$ (19)	99,74

4. Wnioski

1. Proces suszenia słomy rzepakowej prowadzony w temperaturze 140°C stanowi 40% czasu suszenia w temperaturze 80°C.
2. Kinetykę procesu suszenia słomy rzepakowej i zbożowej można opisać ogólnym równaniem funkcji wykładniczej.
3. Krzywe suszenia odpadów (wiórów i trocin) sosnowych można opisać równaniem uogólnionym funkcji wykładniczej.
4. Kinetykę odpadów dębowych, tj. wiórów i trocin, można przedstawić za pomocą ogólnego równania funkcji wykładniczej.
5. Krzywe suszenia odpadów dębowych w temperaturze 100, 120 i 140°C są przesunięte w czasie względem krzywych suszenia odpadów sosnowych o jeden zakres temperatury.
6. Krzywa suszenia odpadów sosnowych w temperaturze 120°C jest zbieżna z krzywą suszenia odpadów dębowych w temperaturze 140°C i krzywa suszenia odpadów sosnowych w temperaturze 100°C jest zbieżna z krzywą suszenia odpadów dębowych w temperaturze 120°C.

Literatura

1. **Denisiuk W., Piechocki J.** (2000): Doświadczenia z wykorzystania słomy na cele energetyczne na przykładzie kotłowni w Zielonkach. III Międzynarodowa Konferencja Naukowa nt. Rozwój teorii i technologii w technicznej modernizacji rolnictwa. Olsztyn, 47-53.
2. **Skorupska E., Hejft R.** (2001): Badania kinetyki suszenia produktów odpadowych pochodzenia roślinnego przeznaczonych na opał. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej Nauki Techniczne Nr 139, Budowa i Eksploatacja Maszyn Zeszyt 8, Białystok, 419-426.
3. **Skorupska E., Hejft R., Romaniuk A.** (1997): Badanie procesu suszenia odpadów drzewnych. Problemy Inżynierii Rolniczej. Zeszyt 2 (16), Warszawa, 51-62.

RESEARCH OF KINETICS OF DRYING OF STRAWS AND OF WOODS WASTE ORIENTED ON THE FUEL

Summary: Kinetics of drying of cereal straws at the temperature 70, 90, 104, 110, 130 and 140°C, rape straws at the temperature 80, 90, 100, 120 and 140°C, pine and oak sawdust and woodchips at the temperature 100, 120 and 140°C were examined. The drying curves were described with empirical equations. The results of the research can be used to calculations of drying devices.

Ireneusz Soliński*

ENERGETYCZNE, EKOLOGICZNE I EKONOMICZNE EFEKTY WYKORZYSTANIA BIOGAZU ZE SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH

Streszczenie: W referacie przedstawiono ocenę efektów ekologicznych, energetycznych i ekonomicznych jakie powoduje utylizacja biogazu na Składowisku Odpadów Komunalnych "Barycz", w wyniku zastosowania agregatu prądotwórczego.

Słowa kluczowe: Utylizacja odpadów, energia odnawialna, biogaz, efekty ekologiczne, Ekonomia

1. Wstęp

Problematyka rekultywacji wysypisk odpadów komunalnych w Polsce nabiera obecnie rozmachu i słusznego zainteresowania zarówno władz lokalnych jak i MOŚZNiL. Jest to konsekwencją wielu czynników m.in.:

- wzrastającej z roku na rok ilości odpadów i potrzebą budowy nowych wysypisk,
- istnieniem tzw. "dzikich wysypisk", które stanowią zagrożenie dla środowiska,
- nie posiadają bowiem żadnych zabezpieczeń ekologicznych,
- emisją szkodliwych dla środowiska substancji (gazu do atmosfery, odcieków do wód i gruntu), z istniejących składowisk odpadów.

Powyższe czynniki wpływają na szybsze podejmowanie decyzji przez lokalne władze w kierunku rekultywacji i odgazowania istniejących wysypisk, ich ekologicznego zabezpieczenia, projektowania nowych wysypisk, przy zastosowaniu najnowszych światowych technologii.

Wg GUS-u legalne składowiska odpadów komunalnych zajmują w Polsce ponad 3100 ha. Szacuje się, że łączna emisja biogazu z wysypisk w Polsce wynosi

* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Górniczy, Katedra Ekonomiki i Zarządzania w Przemysle

około 80 tys. m³/h o zawartości 50% CH₄, co odpowiada około 400 MW mocy cieplnej lub 120 MW mocy elektrycznej. (Nowakowski, 1997).

Wysypiska o rocznej masie składowanych odpadów powyżej 10 tys MG, zgodnie z zaleceniami UE, powinny posiadać instalację odgazowującą. W Polsce jest takich wysypisk (wg stanu z 1997 r.) około 44, natomiast instalacji czynnych do odgazowania wysypisk, na koniec 1996 r. wg (Nowakowski, 1997; Szałek i inni, 1996), było 10.

Biogaz z odpadów organicznych wytwarza się niezależnie od sposobu zagospodarowania wysypiska. Energię własną biogazu szacuje się na 4-5 kWh/m³ odpadów (Szałek i inni, 1996).

2. Możliwości wykorzystania biogazu

Najlepszy efekt odgazowania wysypiska można uzyskać jeśli ujęty biogaz będzie przedmiotem gospodarczego wykorzystania. Jak wskazują obecne doświadczenia, biogaz z wysypisk może być użyty do celów grzewczych w kotłowniach centralnego ogrzewania oraz dla przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ten rodzaj użytkowania biogazu limitowany jest zawartością metanu w biogazie, która wynosi ok. 50%. Skład ten z uwagi na wybuchowość może się zmieniać tylko w niewielkich granicach, zatem musi być kontrolowany. Istnieje możliwość, w przypadku większych wahań zawartości metanu, wzbogacania biogazu przez dodanie gazu ziemnego. Istnieje również możliwość wykorzystania biogazu z wysypisk do wytwarzania energii elektrycznej przy zastosowaniu silników Diesla, przy **współczynniku** sprawności ok. 0,3. W tym przypadku występuje jednakże duża ilość odpadowej energii cieplnej (z chłodzenia agregatu), która winna być wykorzystana jako ciepła woda użytkowa. W ten sposób można uzyskać współczynnik sprawności ok. 0,8. Jest to bardzo korzystne z punktu widzenia ekonomicznego. Są również badane możliwości wykorzystania biogazu do zasilania silników transportu samochodowego.

3. Efekty ekologiczne wykorzystania biogazu ze Składowiska Odpadów Komunalnych "Barycz"

Efekty ekologiczne wykorzystania biogazu z wysypisk są oczywiste. Jeśli wysypisko nie jest uszczelnione, biogaz przedostaje się do atmosfery, a jego podstawowy składnik metan jest jednym z gazów wpływających na powstanie dziury

ozonowej. Biogaz zbiera się w nadmiernych ilościach w warstwie przypowierzchniowej, a wchodzący w jego skład metan powoduje zamieranie systemu korzeniowego roślin, stwarzając również niebezpieczeństwo wybuchu. Poza tym pozyskanie biogazu z wysypisk zmniejsza trudne do zmierzenia, zanieczyszczenie środowiska substancjami zapachowymi.

Efekt ekologiczny powstaje zatem na skutek zmniejszania emisji biogazu do atmosfery w wyniku odgazowania składowiska i spalania ujętego metanu. Są to korzyści w środowisku atmosferycznym, które przejawiać się będą zwiększonym komfortem i walorami rejonów położonych w pobliżu wysypisk, a także zmniejszonym wpływem na efekt cieplarniany.

Poniżej przedstawiono przykład wykorzystania agregatu prądotwórczego na Składowisku Odpadów Komunalnych "Barycz" w Krakowie i jego oddziaływanie na środowisko oraz efektywność ekonomiczną wytwarzania energii elektrycznej i energii cieplnej z biogazu.

Wpływ składowiska na atmosferę

Poniżej w tabeli 3.1 podano skład gazu wysypiskowego na Składowisku Odpadów Komunalnych „Barycz”, określony na podstawie kilku pomiarów wykonanych w kwietniu 1998 roku, który mógłby wydostawać się do atmosfery, gdyby nie istniało jego ujęcie i spalanie. Dysponując wskaźnikami strat ekologicznych oraz ilością wydzielanego biogazu łatwo policzyć, jak duże straty wystąpiłyby w środowisku przyrodniczym.

Tab. 3.1. Skład gazu doprowadzanego do agregatu

Data pomiaru	Skład gazu wysypiskowego % [v/v]			
	CO ₂	CH ₄	O ₂	N ₂
02.04.1998	26,4	57,6	0,6	15,4
24.04.1998	25,0	52,4	0,4	22,2
16.04.1998	26,4	57,4	0,0	16,2
17.04.1998	26,5	57,1	0,0	16,4

Źródło: Dokumentacja techniczna

W II kwartale 1998 roku instalacja do spalania gazu wysypiskowego pracowała do dnia 18 kwietnia. W tym okresie zawartość metanu w gazie wahała się w granicach 52,4-57,6% obj., dwutlenku węgla 25,0-26,5% obj. i tlenu 0,0-0,6% obj. Następnie dokonano adaptacji instalacji w celu przystosowania jej do współpracy z blokiem energetycznym zainstalowanym przez firmę HASSE. Aktualnie

instalacja spełnia rolę stacji przesyłowej biogazu uzyskanego z nieeksploatowanej części wysypiska Barycz do bloku energetycznego, który przetwarza biogaz na energię elektryczną i energię ciepłą. W przypadku nadmiaru biogazu oraz w przypadku dłuższych przerw w produkcji energii elektrycznej, instalacja może być wykorzystywana do spalania biogazu.

Poniżej w tabeli 3.2 pokazano wielkość rocznej (maksymalnej) emisji zanieczyszczeń z agregatu prądotwórczego wyliczoną zgodnie z normą ustaloną przez producenta agregatu.

Tab. 3.2. Emisja roczna (maksymalna) z agregatu prądotwórczego

Zanieczyszczenie	Emisja roczna [Mg]
Dwutlenek siarki	3,6
Tlenki azotu	3,46
Tlenek węgla	4,5
Fluorowódór	0,035
Chlorowódór	0,208
Pył zawieszony	0,347
Węglowodory	1,04

Źródło: Dokumentacja techniczna

Wykonane obliczenia rozprzestrzeniania zanieczyszczeń wykazały, że dla wszystkich emitowanych przez instalację składników spalin, emitator został zakwalifikowany do pierwszej (najniższej) klasy oddziaływania na środowisko (Dokumentacja techniczna...).

Przyjmując zatem wielkość wytworzonej w roku energii elektrycznej w zainstalowanym agregacie w wysokości 1976 MWh, jednostkowa wielkość emisji wyniesie np. dla:

- dwutlenku siarki – 1,75 kg/MWh,
- tlenku azotu – 1,75 kg/MWh,
- tlenku węgla – 2,28 kg/MWh.

Dokonując porównania tych wielkości zanieczyszczeń ze średnimi wielkościami dla polskiej energetyki odniesionymi do 1 MWh energii elektrycznej, zestawionymi poniżej (GPiE, 1992):

- dwutlenku siarki – 10 kg/MWh,
- tlenku azotu – 4 kg/MWh,
- tlenku węgla – 11 kg/MWh,

należy stwierdzić, że zastosowanie agregatu prądotwórczego do konwersji gazu wysypiskowego na energię elektryczną, powoduje wielokrotne zmniejszenie zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery, przy produkcji 1 MWh energii elektrycznej w stosunku do zanieczyszczeń jakie generuje energetyka bazująca na węglu.

Ocena wpływu składowiska na klimat akustyczny.

• Źródła hałasu

Podstawowymi źródłami hałasu znajdującymi się na terenie składowiska są:

- maszyny robocze (kompaktory – 2 sztuki oraz lekki spychacz marki Holveste),
- hałas drogowy (samochody wywózkowe, samochody dostarczające ziemię na składowisko, beczkowsy do wywozu fekalii),
- spalarnia gazu,
- blok energetyczny,
- myjnia samochodów.

Na podstawie regulaminu pracy na składowisku określono czas pracy urządzeń. Samochody dowożące odpady pracują w godzinach od 7⁰⁰ do 14⁰⁰. W tym czasie wykonują one około 600 przejazdów. Równocześnie pracuje myjnia samochodów (mycie kół i podwozi). Spychacze i kompaktory pracują w godzinach od 6³⁰ do 18⁰⁰. Spalarnia gazów jest czynna całą dobę.

• Dopuszczalny poziom dźwięku w środowisku

Emisja hałasu do środowiska związana z eksploatacją składowiska, zgodnie z decyzją Wojewody Krakowskiego z 30.12.1996 roku nie może przekraczać wartości dopuszczalnych równoważnego poziomu dźwięku, przy zabudowie mieszkalnej jednorodzinnej:

- | | |
|---|-------|
| - w godzinach 6 ⁰⁰ do 22 ⁰⁰ | 45 dB |
| - w godzinach 22 ⁰⁰ do 6 ⁰⁰ | 35 dB |

Maksymalny krótkotrwały poziom dźwięku 70 dB.

• Oddziaływanie akustyczne obiektu

Na przełomie czerwca i lipca 1997 roku Katedra Wibroakustyki AGH wykonała pomiary hałasu w 6 wybranych punktach w otoczeniu składowiska (brak agregatu prądotwórczego). Wyniki pomiarów zostały przytoczone w tabeli 3.3.

W ocenie wyników pomiarów nie brano pod uwagę hałasu w porze nocnej ze względu na to, że składowisko w tym czasie nie pracuje. Na podstawie wyników pomiarów w punkcie numer 5 stwierdzono przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu w porze dziennej o 10 dB.

Tab. 3.3. Wyniki pomiarów hałasu w otoczeniu składowiska

Nr punktu	Rodzaj hałasu	L_{Aeq} [dB]
1	dzienny	51,0
	nocny	42,0
2	dzienny	48,5
	nocny	39,5
3	dzienny	61,0
	nocny	41,0
4	dzienny	43,0
	nocny	39,0
5	dzienny	55,2
	nocny	45,0
6 ¹	w odległości 30 m	65,2
	w odległości 60 m	61,3
	w odległości 120 m	54,1

¹ Hałas drogowy w odległości 30, 60, 120 m od skraju drogi prowadzącej na składowisko.

Źródło: Dokumentacja techniczna

Hałas ten jest wynikiem dość dużego ruchu samochodowego oraz gospodarki osiedla. Obrazem oddziaływania hałasu składowiska na klimat akustyczny osiedla Soboniewice jest wynik pomiaru w punkcie 4 (43 dB). Wskazuje to na brak wpływu składowiska na klimat akustyczny osiedla Soboniewice. Wynika z tego, że hałas na osiedlu ma pochodzenie miejscowe. Wyniki pomiarów w punkcie 1 i 2 obrazują hałas od transportu odpadów na składowisko. W punktach tych stwierdzono nieznaczne przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu. W punkcie pomiarowym 3, który był umieszczony pomiędzy dwoma budynkami mieszkalnymi odnotowano znaczne przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu – 16 dB. Przyczyną tego hałasu jest głównie transport i praca maszyn w miejscu składowania odpadów. Wyniki pomiarów w punkcie 6 obrazują wpływ hałasu od transportu w przestrzeni otwartej, lekko zadrzewionej, na wysokości 1,5 m od gruntu, wskazują na przekroczenie wartości dopuszczalnych.

Według gwarancji dostawcy urządzeń do wykorzystania energetycznego gazu wysypiskowego, natężenie dźwięku w odległości 10 m od kontenera z instalacją nie powinno przekraczać 60 dB. W odległości 150-200 m poziom dźwięku powinien wynosić 35 dB. Poziom dźwięku wewnątrz kontenera wynosi 99 dB.

Oszacowanie wpływu składowiska na klimat akustyczny otoczenia wysypiska odpadów jest trudne, bowiem oprócz omawianej instalacji do utylizacji gazu wysypiskowego na emisję hałasu mają także wpływ technologiczne urządzenia me-

chaniczne. Urządzenia te przemieszczają się po składowisku, stąd różny ich wpływ w różnym czasie.

Z porównania przytoczonych wyników pomiarów hałasu oraz gwarancji dostawy jak również z doświadczenia z pracy podobnych urządzeń wynika, że taka instalacja do utylizacji w minimalnym stopniu będzie wpływała na klimat akustyczny środowiska, który zdominowany jest przez hałas komunikacyjny.

4. Efekt energetyczny

Powstaje na składowisku „Barycz” na skutek wykorzystania gospodarczego biogazu w ilości ok. $300\text{m}^3/\text{h}$, do wytworzenia energii cieplnej i energii elektrycznej, eliminując tym samym odpowiednią ilość węgla. Wykorzystanie agregatów prądotwórczych do utylizacji biogazu daje wymierne efekty energetyczne. W przypadku zainstalowania agregatów o mocy $2 \times 250\text{ kW}$ możliwe jest wytworzenie ok. 3900 MWh energii elektrycznej w ciągu roku i 5800 MWh energii cieplnej. Taka ilość energii elektrycznej dostarczana jest do Zakładu Energetycznego w Krakowie, a część energii cieplnej zużywana na potrzeby składowiska. Przyjmując zatem, że na wytworzenie 1 MWh energii elektrycznej w konwencjonalnej elektrowni potrzeba ok. 500 kg węgla kamiennego, to wykorzystując energię biogazu, wyeliminowane zostanie (zastąpione w użytkowaniu) ok. 1950 ton węgla kamiennego rocznie

5. Efekt ekonomiczny

Jest konsekwencją efektu ekologicznego i energetycznego, występuje po zainwestowaniu w odgazowanie oraz ujęcie biogazu, a także w dostawę i użytkowanie u odbiorcy. Winien być określany indywidualnie dla każdego wysypiska, bowiem zależy od wielu czynników, a mianowicie:

- wielkości wysypiska (objętości odpadów),
- wielkości instalacji odgazowującej,
- wielkości pozyskania biogazu (wydajności w m^3/h),
- odległości od potencjalnego odbiorcy,
- czasu użytkowania, ilość godzin w roku,
- rodzaju użytkowania: c.o.; c.w.u.; c.o + c.w.u.; c.o + c.w.u. + en.elektryczna,
- wielkości zapotrzebowania odbiorcy na biogaz.

Efekt ekonomiczny jest zatem sumą efektu ekologicznego na wysypisku w wyniku zmniejszenia emisji szkodliwych gazów tj. metanu i dwutlenku węgla, tlenków azotu, które powodują występowanie efektu cieplarnianego, oraz w wyniku zmniejszenia emisji u użytkownika w kotłowni spalającego biogaz lub wykorzystującego generator prądu, zamiast zużycia węgla kamiennego.

Kolejnym składnikiem **efektów ekonomicznych** jest zysk netto jaki osiągnie dostawca i użytkownik biogazu. Zyski osiągnięte ze sprzedaży biogazu winny być wykorzystane do rozbudowy, rekultywacji lub zabezpieczenia istniejących wysypisk odpadów komunalnych.

6. Efektywność ekonomiczna wykorzystania biogazu

Ocena ekonomiczna omawianego bloku energetycznego została wykonana przez autora na zlecenie Miejskiego Przedsiębiorstwa Oczyszczania Sp. z o.o w Krakowie, we wrześniu 1997 roku. Z uwagi na to, że nie była możliwa realizacja dostawy biogazu do Wieliczki, zdecydowano się na instalację agregatów prądotwórczych. Dokonano kompleksowej oceny ekonomiczno-finansowej możliwości produkcji energii elektrycznej i energii cieplnej z ujmowanego biogazu na Składowisku Odpadów Komunalnych Barycz.

Analiza i ocena ekonomiczna objęła sieć otworów eksploatujących biogaz z istniejącego ujęcia oraz zakupienie, zainstalowanie i użytkowanie bloku energetycznego niemieckiej firmy Haase Energietechnik GmbH.. Zatem uzyskane wyniki odnoszą się do całego układu technologicznego pozyskania biogazu jak i utylizacji w bloku energetycznym.

Zabudowa i wykorzystanie bloku energetycznego do utylizacji biogazu eliminuje konieczność rozbudowy instalacji do jego spalania, a tym samym zwalnia środki finansowe potrzebne na ten cel.

Oceniany wariant utylizacji biogazu z wykorzystaniem bloku energetycznego charakteryzuje się następującymi parametrami:

- zużycie biogazu – 150 m³/h,
- wytworzenie energii elektrycznej 1976 MWh rocznie – agregat prądotwórczy o mocy elektrycznej 247 kW,
- wytworzenie energii cieplnej z wody chłodzącej (moc 229 kW) i ze spalin (moc 134 kW), 2900 MWh rocznie,
- zużycie energii cieplnej – 160 MWh rocznie na ogrzewanie zaplecza składowiska Barycz.

Wytworzona energia elektryczna dostarczana będzie do sieci energetycznej, a część energii cieplnej z chłodzenia agregatu wykorzystana będzie do ogrzewania zaplecza składowiska oraz jako ciepła woda użytkowa. Analiza nie uwzględnia efektów ekonomicznych z tytułu wykorzystania energii cieplnej wytwarzanej w agregacie prądotwórczym.

Nakłady inwestycyjne

Nakłady inwestycyjne całego przedsięwzięcia wynoszą: 1685000 złotych. Obejmują one:

- sieć otworów odgazowujących oraz doprowadzenie biogazu do agregatu prądotwórczego,
- dostawę i zakup kontenerowego bloku energetycznego,
- zabudowę i zagospodarowanie terenu,
- linię kablową niskiego napięcia przesyłającą energię elektryczną do sieci,
- prace adaptacyjne w istniejącej instalacji biogazu.

Okres budowy wynosi pół roku.

Cena sprzedaży energii elektrycznej

Cenę sprzedaży energii elektrycznej do sieci państwowej określono w oparciu o uzgodnienie MPO z Zakładem Energetycznym „Kraków” S.A., na poziomie 0.19 zł/kWh. Cenę tę przyjęto jako stałą w całym okresie analizy.

Analiza ekonomiczno-finansowa

Analiza ekonomiczno-finansowa została dokonana przy zastosowaniu programu komputerowego „BP-IBM”, pozwalającego na wszechstronną ocenę przedsięwzięcia inwestycyjnego. Analiza ekonomiczno-finansowa obejmuje użycie biogazu w bloku energetycznym do wytwarzania energii elektrycznej i energii cieplnej, przyjmując następujący sposób finansowania inwestycji:

- środki własne z przychodów składowiska Barycz - 185 000 zł,
- kredyt z WFOŚiGW - 1 500 000 zł.

Warunki kredytowania inwestycji ustalono w oparciu o możliwości finansowania przedsięwzięć ekologicznych przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, przyjmując oprocentowanie 8 %, okres spłaty 4 lata, 1 rok karencji w spłacie rat i odsetek. Okres eksploatacji gazu wyniesie 20 lat, a realną stopę dyskontową przyjęto w wysokości 8%.

W ocenie przedsięwzięcia wykorzystano cztery metody oceny rentowności oraz dwie metody analizy finansowej. Są to:

- wartość kapitałowa netto, w złotych,
- wewnętrzna stopa zwrotu, w %,
- okres zwrotu nakładów kapitałowych, w latach,
- zdyskontowany koszt produkcji, w zł/kWh,
- wynik finansowy,
- przepływy gotówki.

Podstawowe wskaźniki rentowności ujęto w tabeli 6.1.

Tab. 6.1. Wskaźniki rentowności

Wartość kapitałowa netto [tys.zł]	Wewnętrzna stopa zwrotu [%]	Okres zwrotu nakła- dów kapitałowych [lata]	Zdyskontowany koszt utylizacji [zł/kWh]
748	14,8	9	0,147

Źródło: opracowanie własne

Z przedstawionych w tabeli wskaźników wynika, że oceniane przedsięwzięcie inwestycyjne jest efektywne ekonomicznie w całym okresie eksploatacji, jednakże analiza przepływów gotówki wykazuje duże braki w pierwszych czterech latach eksploatacji, co wiąże się ze spłatą rat kredytu i odsetek. W dalszych latach wielkość przepływów gotówki przyjmuje wartości od 199 do 180 tys. zł. Zatem wariant taki nie jest wykonalny finansowo. Obecnie inwestycje proekologiczne mogą korzystać z różnych form dotacji np. z Narodowego lub Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska. W prowadzonych analizach dokonano zatem symulacji wielkości dotacji do inwestycji odgazowania i konwersji biogazu na energię elektryczną w agregacie prądotwórczym. Wyniki analizy rentowności wskazują, że dopiero dofinansowanie (dotacja) w wysokości 50% nakładów inwestycyjnych powoduje, iż to przedsięwzięcie jest wykonalne finansowo, czego obrazem są wartości wyliczonych wskaźników rentowności w tabeli 6.2.

Tab. 6.2. Wskaźniki rentowności (przy dotacji 50% kosztów inwestycyjnych)

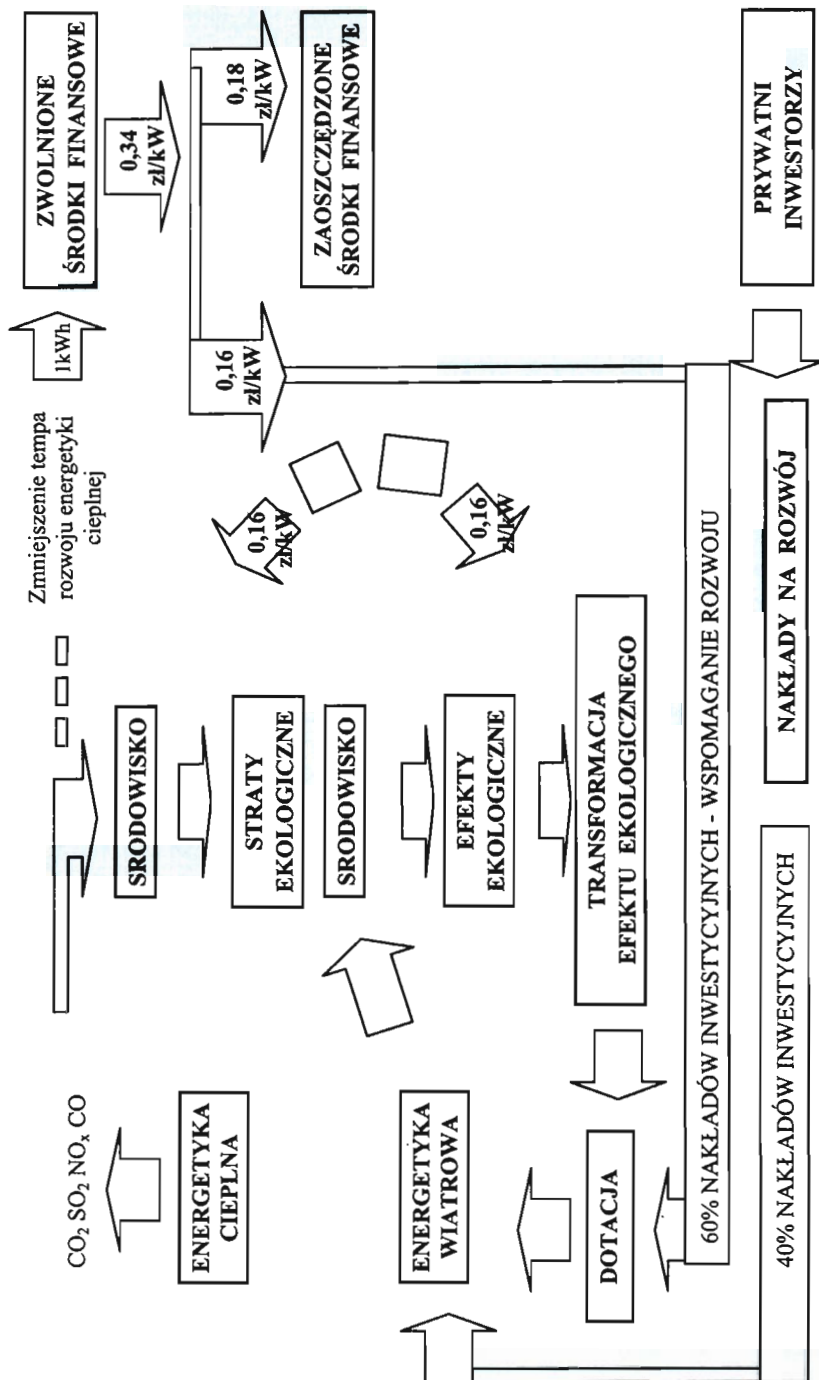
Wartość kapitałowa netto [tys.zł]	Wewnętrzna stopa zwrotu [%]	Okres zwrotu nakła- dów kapitałowych [lata]	Zdyskontowany koszt utylizacji [zł/kWh]
1 528	34	5	0,103

Źródło: opracowanie własne

W wariantcie z dotacją w wysokości 50% kosztów inwestycyjnych, przepływy gotówkowe są dodatnie w całym okresie rozważań, a główne wskaźniki rentowności przyjmują zadowalające wielkości (tabela 6.2). Pozostaje jednakże problem czy tak wysoka wielkość dotacji jest uzasadniona ekologicznie. Na to pytanie starano się dać odpowiedź w (Solińska, Soliński, 2001), gdzie wyznaczono wielkość efektu ekologicznego jaki powstaje w środowisku w przypadku odgazowania składowiska odpadów komunalnych i utylizacji ujętego biogazu w agregacie prądotwórczym. Wielkość efektu ekologicznego odniesiono do 1 kWh energii elektrycznej, a obiektem odniesienia była elektrownia zawodowa spalająca węgiel kamienny (Solińska, Soliński, 2001). Na podstawie wyliczonego efektu ekologicznego określono wielkość dotacji, która wyniosła 80% kosztów inwestycyjnych. Oznacza to, że tego rodzaju inwestycje mogą uzyskiwać dotacje z funduszy ekologicznych nawet do wysokości 80% kosztów inwestycji i będzie to uzasadnione ekologicznie.

Ideę wykorzystania efektu ekologicznego i jego transformację w dotację przedstawiono na rysunku 1, który odnosi się wprawdzie do rozwoju energetyki wiatrowej, ale również dobrze ilustruje ogólne zasady dotowania rozwoju każdej formy energii odnawialnej w oparciu o efekt ekologiczny. Jak widzimy, państwo ograniczając rozwój energetyki cieplnej, może część środków finansowych przeznaczyć na dotacje do rozwoju energetyki odnawialnej (w prezentowanym przykładzie dotyczy to energetyki wiatrowej i wynosi 0,16 zł/kWh energii elektrycznej), co przeliczone na dotację do inwestycji stanowi w tym przypadku ok. 60% kosztów inwestycyjnych. Taka wielkość dotacji jest uzasadniona ekologicznie i stwarza dobre warunki do rozwoju energii wiatrowej, bowiem zapewnia inwestorom prywatnym osiągnięcie zadowalającego poziomu rentowności w tego rodzaju inwestycji, a państwu zaoszczędzone środki finansowe w wysokości 0,18 zł/kWh.

Wyliczona dla biogazu wielkość dotacji do inwestycji, mająca uzasadnienie ekologiczne, wynosi ok. 80%, a jej interpretacja jest podobna jak dla energetyki wiatrowej (zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1).



Rys. 1. Schemat ideowy efektu ekologicznego i systemu wspomagania rozwoju energii odnawialnej

7. Podsumowanie

Podsumowując należy stwierdzić, że przedstawiony w niniejszym referacie sposób zagospodarowania biogazu wysypiskowego traktować można jako inwestycję proekologiczną. Pozwala bowiem na produkcję energii elektrycznej i ciepłej z paliwa odpadowego przy minimalnym obciążeniu środowiska (eliminuje w znacznym stopniu ujemny wpływ składowiska odpadów na środowisko). Przedsięwzięcie jest rentowne i wykonalne finansowo przy dotacji 50% nakładów inwestycyjnych, a więc mniejszej od dotacji granicznej wynikającej z efektu ekologicznego (wynoszącej 80% kosztów inwestycyjnych). Może zatem być dofinansowane z funduszy ekologicznych, co będzie uzasadnione ekologicznie. Istotne jest również to, że zasięg jego oddziaływania nie wykracza poza teren składowiska, w związku z tym nie zagraża pobliskim mieszkańcom i przyrodzie.

Literatura

1. **Nowakowski S.:** Pozyskiwanie biogazu wysypiskowego do celów energetycznych. *Ochrona Powietrza i Problem Odpadów*, nr 1, 1997.
2. **Solińska M., Soliński I.:** Ekologicznie uzasadniona wielkość dotacji do odgazowania składowisk odpadów komunalnych. Materiały Międzynarodowego Seminarium nt. "Recykling Odpadów" - Ostrawa 2001
3. **Soliński I. i inni:** Prognozy kosztów oraz konkurencyjność odnawialnych i nieodnawialnych nośników energii w Polsce. *Studia i Rozprawy* nr 34. Wyd. Centrum PPGSMiE PAN Kraków, 1994
4. **Soliński I., Załucki J.:** Studium wykonalności dla zabudowy bloku energetycznego firmy Hasse Energietechnik GmbH (Niemcy) do produkcji energii elektrycznej i ciepłej z biogazu na Składowisku Odpadów Komunalnych „Barycz” w Krakowie, Kraków, 1997 (niepublikowane).
5. **Szałek J. i inni:** Zagospodarowanie biogazu z Wysypiska Odpadów Komunalnych w Baryczy. Styczeń 1996 r. (Koncepcja) *Gospodarka Paliwami i Energią* nr 10/92
6. Dokumentacja techniczna zabudowy agregatu prądotwórczego na składowisku Odpadów Komunalnych "Barycz" w Krakowie

Publikację wykonano w ramach badań statutowych AGH w Krakowie, finansowanych z Komitetu Badań Naukowych, umowa nr 11.11.100.580.

Lubomír Šooš*, Peter Gros*

DUAL-CHAMBER BRIQUETTING PRESS

Abstract: Department of Production Engineering is engaging in research into rammering of biomass waste. There has been developed the own construction of mechanical briquetting press BZ 50-250. Nowadays, we've just finished development of dual-chamber version of this machine. The main purpose is to consolidate and to create very simple kit. This modular concept allows to assemble single or dual-chamber briquetting press on customer's demand.

1. Conceptual Development of a dual-chamber briquetting press

In today's markets there is a sufficient number of different designs of briquetting presses. The customer has the option in choosing different kinds of presses for example, a screw press, hydraulic press or even a mechanical press.

According to analysis done in various different workstations, it is seen that from these evaluations it is very advantageous to use mechanical briquetting presses with an open compacting chamber. It is mainly due to the fact that the briquettes formed are of high quality, there is a low expense burden on production, low power consumptions with respect to the output power, and low wearing of the functional surface. The customer can easily change the length of the briquettes to his or her needs, which in turn does not affect the quality of the briquettes in anyway. The department of Production Engineering at SJF STU in Bratislava, has developed an advanced single-chamber briquetting BL 50-250 (fig. 2). The increase of the input power (kW) is proportional to the increase in output power (kW) of the press. For the future user it is very important to have a decrease in the energy demand of these machines. The way in which to accomplish this factor is the conception of a dual-chamber mechanical press.

* Šooš Lubomír, doc. Ing., PhD. – vedúci katedry, Katedra výrobnjej techniky, Strojnícka fakulta STU v Bratislave, Nám. slobody 17, 812 31 Bratislava 1, tel.: 02/57 296 543, fax.: 02/52 497 809

Even today we know of dual-chamber designs of screw and hydraulic briquetting presses (fig. 1).

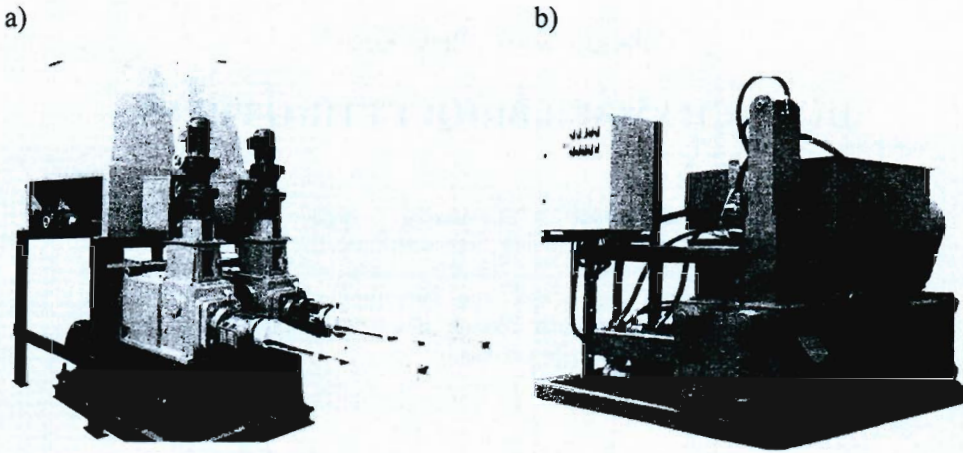


Fig. 1. a) Austrian dual-chamber screw press PINI + KAY b) German dual-chamber hydraulic press RUF

For these presses the effect of lowering the required energy demand is not possible and the number of chambers to input power must be in direct proportions – for twice the output power of the press the input power doubles. On the contrary for a dual-chamber mechanical press that is not the case, which provides an advantage.

The new conceptual development of the dual-chamber press allows us to:

- effectually increase the output power of the press
- use smaller relative build up areas
- simplify the balancing of crank mechanisms
- construct basic combinatory unifications of parts from single-chamber briquetting presses.

According to the requirements of the customer it would be easy to use either the basic – single chamber, or dual-chamber briquetting presses.

The majority of manufactures have observed that a **dual-chamber press has a smaller input power to bulk output power:**

$P_{jv2} < P_{jv1}$, which is a positive point in its favor.

The main objective of the project will be to formulate combinatory constructive solutions of presses and their application to the evolution of a new dual-chamber press created from the forerunner single-chamber press BL 50-250.

2. Development of a dual-chamber briquetting press at Sjf STU in Bratislava

At the present time the manufactured Slovak briquetting press BL 50-250 (crank with an open compacting chamber -*KONŠTRUKTA-INDUSTRY Trenčín*), developed and designed at the department of Production Engineering Sjf STU in Bratislava, is able to produce briquettes with a diameter of 50 mm with a output power of 250 to 350 kg.h⁻¹ (wood). The endeavor to decrease the energy demand on a 1 kg produced briquette (increase the bulk output power of the press in respect to the input power) leads to the wanted development and design of a briquetting press with a larger hourly production of briquettes

Tab. 1. Wanted properties of the new dual-chamber press in comparrison to a single-chamber press

Identification	BL 2-50 – 250	Press property BL 50 – 250 (for comparison)
Bulk output power W (wood chips) [kg.h ⁻¹]	700	350
Total input power [kW]	25	16,5
Revolutions of the crank shaft [min ⁻¹]	312	312
Input power of the electric motors screw feed [kW]	2 x 1,5	1,5
Input with respect to bulk output power P_{jv} [kW.(kg.h ⁻¹) ⁻¹]	0,0357	0,0471
Set up	Dual-chamber	Single-chamber
Type waste able to be processed	sawdust, wood scraps, paper, textiles, leather, ropes, straw, plastics	
Waste magnitude fraction [mm]	max. 15 x 5 x 2	
Humidity of scrap (wood chips)	11 ± 2 (max. 18) %	
Briquette dimensions [mm]	Infinite bar with a diameter of ø50 mm, divisible on for any length u	

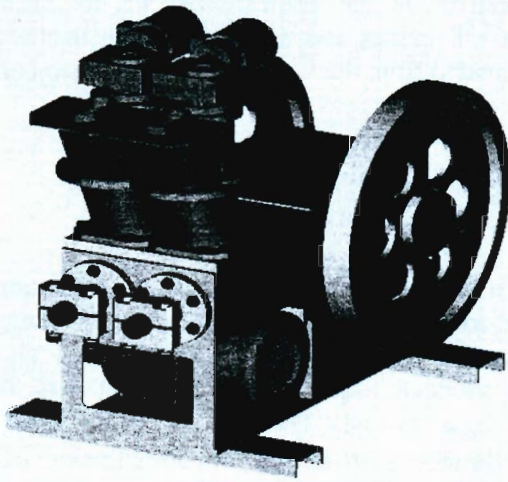


Fig. 2. Dual-chamber briquetting press

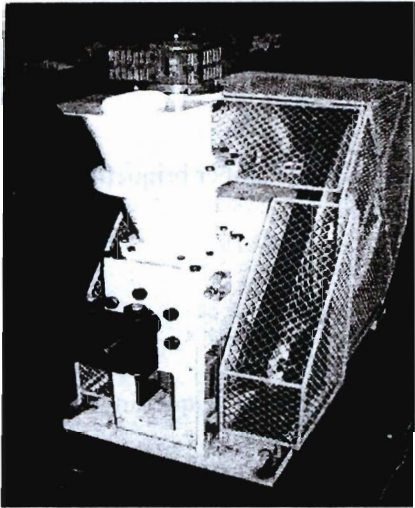
In order for P_{jv} to be comparable and compatible with foreign machines in its category, resp. the least possible number, leads to the creation of the following requirements for the properties of the new press (tab. 1).

3. Modular design, unification nodes and compadibility with single-chamber presses

The set-up of the dual-chamber press BL 2-50-250 should be designed so that it achieves the maximum unification of parts from the single-chamber press BL 50-250. The ratio of altered subset nodes (modules) and ready-made subset nodes from BL 50-250 should be as low as possible. At the same time with new conceived subset nodes with regard to the existing design. This kind of modular design is aimed at *reducing the manufacturing expenses and price* of the new dual-chamber press.

Apart from the modular construction price and reliability of the machine, it should substantially be noted that in its construction no hydraulics will be used (similarly as in the BL 50-250 press).

a)



b)

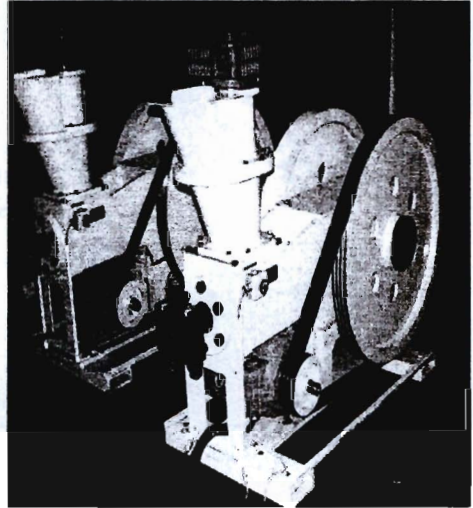
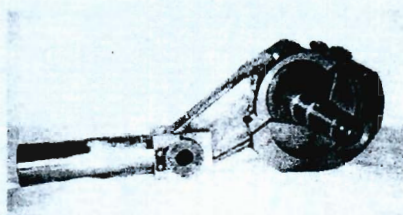


Fig. 3. a) Single-chamber independent BL 50-250 press, b) Single-chamber BL 50-250 pressIn a parallel sequence

Tab. 2. Unification nodes

Dual-Chamber Briquetting Press		
Subgroup:		
	Proper	Adopted from BL 50 – 250
Frame	x	
Main Drive (electric motor)	x	
Flywheel		x
Pulley		x
Little Pulley		x
Pressing Chamber		x
Screw Feeder		x
Spring Collet		x
Fan Belts		x
Feeding Socket		x
Crank Box	x	
Crank Shaft	x	
Crank Shaft Roller Beraing		x
Crank Shaft Sleeve Beraing	x	

Sample of modular concept:



Crank Gear of single-chamber briquetting press BZ 50 – 250.



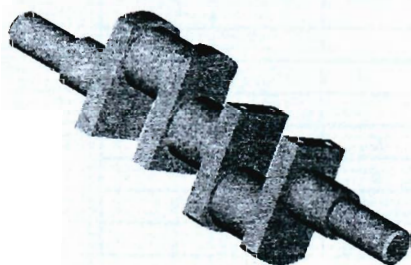
Crank Gear of dual-chamber briquetting press BZ 50 – 250.



Rod – usable in both of versions



Crank Shaft of single-chamber briquetting press BZ 50 – 250.



Crank Shaft of dual-chamber briquetting press BZ 50 – 250.



Crusader– usable in both of versions



Counterweight of single-chamber briquetting press BZ 50 – 250.



Counterweight of dual-chamber briquetting press BZ 50 – 250.

Literature

1. **Gros, P.:** Dual-chamber briquetting press [Diploma Work]. Bratislava, máj 2000, 67 s.
2. **Šooš, L.:** Wood waste...what to do with it? ECB Bratislava august 2000, 118 s.

Зиновий Стоцко*

РЕАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Описаны особенности и возможности разработки и изготовления промышленного оборудования в университетских научно-исследовательских лабораториях. Представлена тематика разработок университета «Львовская политехника» в области автоматизации технологических процессов.

Машиностроение, как отрасль промышленности, играет чрезвычайно важную роль в развитии экономики любого государства, в особенности тех государств, которые стремятся занять надлежащее место в мировой экономике. Очевидно, чтобы развивать собственную независимую промышленность, необходимо иметь мощную машиностроительную базу. Во времена постсоциалистических революционных преобразований, смены форм собственности и выхода производства на международные связи состоялось разрушение старой, не всегда эффективной, но все же системы разработки, проектирования и изготовления отечественных машин. Эта система в каждой отрасли промышленности была представлена комплексом научно-исследовательских и проектных институтов и соответствующих машиностроительных заводов. Цикл проектирования и изготовления был замкнутым, регулировался централизовано, использовались дешевые отечественное сырье и энергетические ресурсы, что при концентрации усилий на определенных, зачастую военно-оборонных, направлениях давало положительные результаты.

Однако в новых условиях хозяйствования, при уменьшенном, либо полностью отсутствующем госбюджетном финансировании, при жесткой конкуренции со стороны мощных мировых фирм, нестабильной

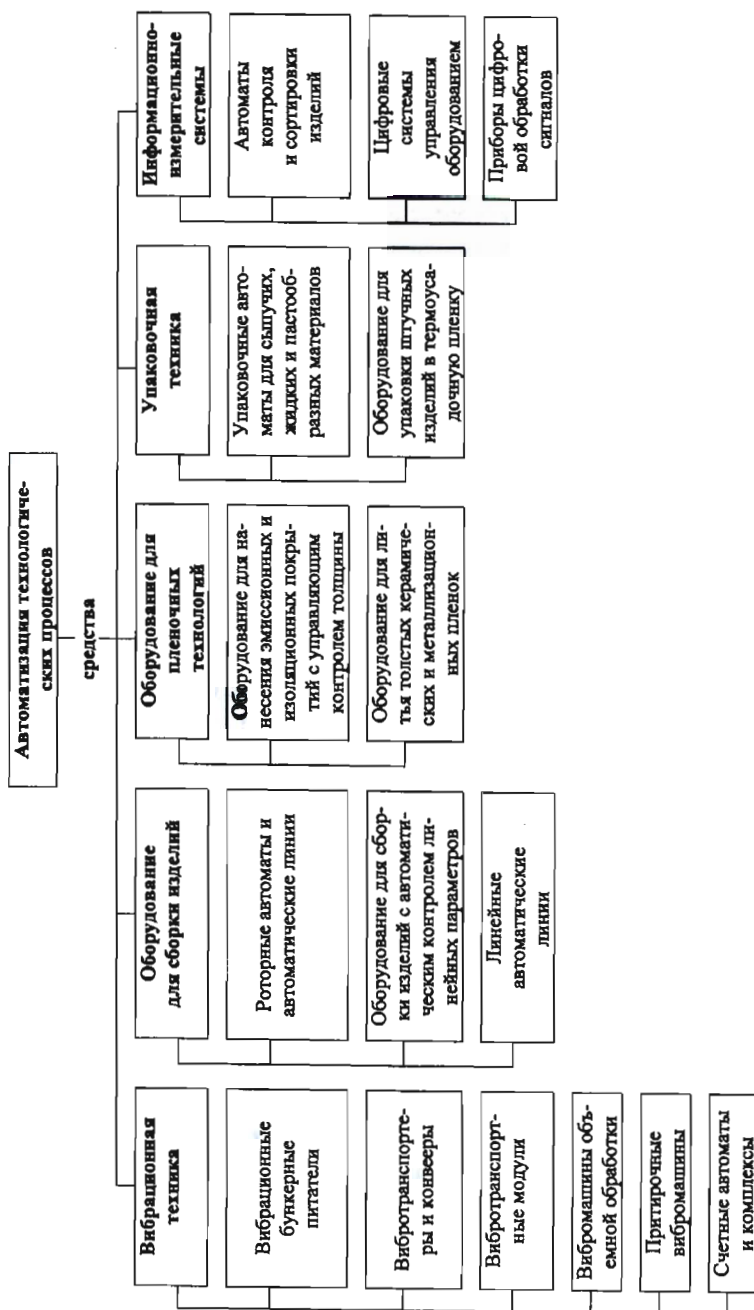
* Украина, Национальный университет «Львівська політехніка»

экономической политике и сокращении производства машиностроительной отрасли когда-то мощные проектные институты пришли в убыток, либо прекратили свое существование. В этих условиях приобрели больший вес малые проектно-конструкторские бюро и фирмы, которые более приспособлены к рыночным отношениям, более чувствительные к конъюнктуре рынка, а современная компьютерная техника и системы автоматизированного проектирования позволяют осуществлять большие объемы конструкторских работ небольшим по численности персоналом. К таким организациям можно отнести научно-исследовательские лаборатории и конструкторские бюро высших учебных заведений.

Опыт работы научно-исследовательских лабораторий машиностроительного профиля, которые функционируют в рамках института инженерной механики и транспорта Львовской политехники служит тому подтверждением. Такие лаборатории, как отдельные конструкторские организации, имеют свои преимущества и недостатки. К преимуществам можно отнести:

- свобода в выборе тематики и заказов, что позволяет сосредоточить усилия на наиболее актуальных проблемах при создании оборудования для той или иной отрасли;
- возможности использования результатов научных разработок коллективов кафедр и приобретенного опыта разработки и проектирования технологического оборудования и систем его автоматизации;
- чаще всего лаборатории работают в замкнутом цикле: от разработки конструкций оборудования до его изготовления и внедрения в производство; это дает возможность, при необходимости, совершенствовать конструкцию непосредственно в процессе изготовления и обеспечить ее надлежащее качество;
- при оригинальности и научной новизне разработок создаваемые машины значительно дешевле зарубежных аналогов;
- чрезвычайно важно и то, что процесс реального проектирования связан с учебным процессом и содействует подготовке молодых квалифицированных конструкторов.

Следует отметить и существенные проблемы в функционировании университетских научно-исследовательских лабораторий: отсутствие маркетинговых и рекламных служб, ограниченные возможности при изготовлении прецизионных, крупногабаритных и других специфических конструкций; нехватка инвестиций для реализации крупных проектов и др.



Классификация разработок технологического оборудования
института инженерной механики и транспорта Львовской политехники

Очевидно, что столь малые организации, которыми преимущественно является научные лаборатории учебных заведений, не могут составить конкуренции мощным проектно-производственным фирмам. Однако научные школы, которые в них формируются, могут с успехом определять направление и уровень прогресса в своей отрасли. Характерным в этом отношении является пример развития научной школы по вибрационной технике, которая сформировалась во Львовской политехнике в шестидесятых годах прошлого столетия, развивалась в последующие годы и успешно функционирует сегодня. Показательными являются такие данные: по этому научному направлению защищено 5 докторских и 32 кандидатских диссертации, опубликовано более 1000 научных работ, получено свыше 300 патентов и 20 дипломов и медалей выставок новой техники.

Для обобщения и представления тематики, которая разрабатывается только в двух научных лабораториях института инженерной механики и транспорта Львовской политехники, на схеме приведена классификация разработок лабораторий. Ограниченный объем статьи не позволяет описать более детально технические параметры и возможности созданного оборудования. Однако отдельные параметры могут подтвердить наукоемкость и эффективность разработок. Например:

- конструкции вибропитателей с электромагнитным приводом обеспечивают направленные и независимые колебания рабочего органа, возможность быстрой переналадки на широкий спектр деталей, простого регулирования производительности, при этом скорость транспортирования деталей может достигать 0,5 м/с;
- вибротранспортеры позволяют транспортировать детали, сыпучие материалы со скоростью до 0,4 м/с и могут монтироваться в целые транспортные системы;
- вибрационные машины объемной обработки предназначены для шлифования и полирования деталей, поверхностного упрочнения, диапазон объема рабочего контейнера вибромашин составляет от 5 до 500 дм³;
- счетные автоматы и комплексы предназначены для транспортирования, сепарации, счета и дозировки дископодобных деталей (монет, пуговиц, радиодеталей и пр.) и отличаются высокой производительностью и точностью счета (± 1 деталь на партию из 10000 деталей);
- упаковочная техника обеспечивает упаковку различных пищевых и непищевых продуктов в стеклянную, бумажную, картонную тару, ламинированную бумагу, в одно- и многослойные синтетические и комбинированные пленки; при этом используются объемные и весовые дозаторы, а величина дозы составляет от 0,001 до 1 кг. Описанные

разработки лишь частично представляют направления исследований, связанных с производством. Отдельного описания и внимания заслуживают научно-исследовательские и конструкторские разработки института в области проектирования автомобильного транспорта, в частности автобусов, сварочной техники, диагностики и восстановления металлических конструкций и сооружений и др.

Таким образом, в условиях учебного процесса имеем уникальное сочетание научных и производственных интересов, что стимулирует реальное проектирование и внедрение в промышленность новых разработок технологий и оборудования. Очевидно и то, чтобы удерживать этот процесс на должном уровне необходимы, кроме творческих поисков, внимание к таким учебным заведениям со стороны промышленников, необходимы инвестиции и сотрудничество на разных уровнях, в том числе международном.

REAL PROJECTING AND PRODUCTION OF INDUSTRIAL TECHNOLOGICAL EQUIPMENT IN CONDITIONS OF EDUCATIONAL PROCESS

Abstract: Here are described peculiarities and possibilities of elaboration and possibilities of elaboration and producing of industrial equipment in universal scientific-research laboratories. Presented subjects of researches of university «Lvivska Polytechnika» in field of automation of technological processes.

Andrzej Szafraniec*

TECHNOLOGIA UTYLIZACJI ODPADÓW ORGANICZNYCH Z WYKORZYSTANIEM URZĄDZENIA DO KOMPOSTOWANIA TYPU EKO-2000

Streszczenie: Opracowanie zawiera opis doświadczeń praktycznych i uwag będących wynikiem prób kompostowania odpadów organicznych przy pomocy obrotowego kompostownika o nazwie EKO-2000, produkcji OBRUM Gliwice. Przedstawiono samo urządzenie oraz przebieg kompostowania osadów ściekowych przemysłu spożywczego.

1. Kompostownik EKO-2000

Zadaniem urządzenia jest przyspieszenie kompostowania mieszanki organicznych odpadów. Składa się ono z komór tworzących bębny, które obracają się wokół osi poziomej. Wkłady do skompostowania umieszczone w takich komorach przesypują się samoczynnie przy obrocie bębnow. Komory posiadają otwory napowietrzające, przez które następuje dopływ świeżego powietrza, ewakuacja gazów (CO_2) i pary wodnej. Dna sitowe komór zapewniają kontakt wsadów między komorami, co ma zasadnicze znaczenie dla inicjacji kompostowania w komorach ze świeżym wsadem. Bliskie sąsiedztwo komór pozwala również wykorzystać duże ilości ciepła wywiązujące się przy kompostowaniu do podgrzewania świeżych wsadów. Dane szczegółowe urządzenia można znaleźć w materiałach ofertowych OBRUM Gliwice. Samo urządzenie nie stanowi jeszcze całej kompostowni. Musi ono współpracować z linią przygotowania wsadu i urządzeniami do dalszego przetwarzania kompostu surowego. Aktualnie, urządzenie EKO-2000, o pojemności $4,5 \text{ m}^3$, pracuje w Zakładzie Przerobu i Składowania Odpadów „Ogrodzieniec” Spółka z o.o. w Ogrodzieńcu przy utylizacji odpadów z rzeźni i fabryki kalafonii.

* Zakład Badań, Ośrodek Badawczo Rozwojowy Urządzeń Mechanicznych OBRUM – Gliwice, ul. Toszecka 102, 44-100 Gliwice

2. Kompostowanie osadów ściekowych przemysłu spożywczego

W OBRUM Gliwice przeprowadzono próby dla opanowania technologii kompostowania specyficznych osadów ściekowych będących bardzo uciążliwym odpadem w Fabryce Osłonek Białkowych „Fabros” w Białce koło Makowa Podhalańskiego. Osad ten, o galaretowatej konsystencji zawierał ok. 84% wody. Pozostałe składniki były mieszaniną białka (kolagen) i soli nieorganicznych wapnia, magnezu i potasu. Korzystną cechą był niski poziom chlorków. Odczyn osadów osiągał $\text{pH} = 9$. Początkowe próby skompostowania wsadów na bazie słomy, siana, trocin czy zrębków drewna okazały się niezadowolające. Zasadniczymi przyczynami były:

- niedokładne wymieszanie składników
- zbyt duża wilgotność wsadu

Pozostawienie grudek wsadu powodowało, że zainicjowany proces kompostowania obejmował jedynie powierzchnię grudki. Wewnątrz postępowały procesy gnilne, beztlenowe. Kompletną katastrofą kończyły się próby zwiększania ilości wody we wsadzie dla rozpuszczenia grudek osadu. Po kilku godzinach proces kompostowania blokował się a wsad zaczynał gnić. O ile stan przygotowywanego wsadu nie budził początkowo obaw ze względu na nadmiar wody, o tyle, po rozpoczęciu procesu, galaretowaty osad uwalniał zawartą w nim wodę, rozpuszczał się i tworzył błotnistą masę, której kompostownik nie był w stanie napowietrzyć.

Ostatecznie dopracowano się technologii przygotowania wsadu tak, by wyeliminować przyczyny początkowych niepowodzeń. W trakcie kolejnych prób stwierdzono:

- Bezpieczna zawartość wody we wsadzie wynosi ok. 30÷40%. W sprzyjających warunkach udaje się skompostować wsady o wilgotności wyższej (do 55%). Wynika to ze specyfiki urządzenia EKO-2000. Załadowanie komory urządzenia wsadem, musi nastąpić gdy sąsiednie komory są w trakcie procesu. Powoduje to wstępne ogrzanie i zainfekowanie wsadu. Doświadczenia pokazały, że obciążenie osadem ściekowym takich wsadów może być znacząco wyższe. Proporcje wagowe wsadu do zrębów drewna i trocin, uzyskane przy takiej technologii, dochodziły do 1:1 a w sprzyjających warunkach, do 1:2:1.
- Zawartość wody, wskutek odparowania, które w trakcie kompostowania jest intensywne, zmniejsza się o ok. 5÷10%
- Czas wstępnego kompostowania trwa 3÷4 doby
- Zalecane proporcje wagowe wsadów:
 - 40% suche zręby drewna i trociny
 - 40% osad ściekowy (wilgotny)
 - 20% woda

W przypadku rozpoczynania procesu na nowych stanowiskach, z nowymi materiałami, zaleca się obniżyć zawartość osadów we wsadzie (nawet o połowę) i stopniowo je zwiększać w kolejnych zasypach. Szczególnie istotne jest to przy niskiej temperaturze otoczenia. Efekt ten zaobserwowano kilkakrotnie. Prawdopodobnie, przyczyną jest konieczność wyhodowania odpowiednich szczepów bakteryjnych do kompostowania nowej mieszanki wsadu.

- w trakcie procesu następowało wydzielanie niewielkich ilości amoniaku (specyfika materiału wsadowego).

Przykładowe wyniki analizy otrzymanego kompostu surowego (średnia z 6 wsadów) są następujące:

Azot (N – NO ₃)	-	120 g/m ³
Fosfor (P)	-	350 g/m ³
Potas (k)	-	500 g/m ³
Wapń (Ca)	-	2500 g/m ³
Magnez (Mg)	-	240 g/m ³
Chlorki (Cl)	-	90 g/m ³
pH	-	8,7

Zawartości składników w masie suchej w [%] jednej z próbek były następujące:

Azot ogólny	-	1,98
Potas K ₂ O	-	0,22
Wapń CaO	-	5,48
Magnez MgO	-	0,52
Fosfor P ₂ O ₅	-	0,69

Otrzymany kompost mieści się praktycznie w granicach normy ÖNORM S2022. Nieznacznie przekroczenia jest wartość pH oraz zawartość azotu. Produkt taki mógłby znaleźć zastosowanie do celów rolniczych.

3. Uwagi końcowe

Konieczność prowadzenia takich badań przez producenta urządzenia, wynikała ze słusznych żądań potencjalnych klientów, którzy oprócz urządzenia, domagali się technologii przetwarzania odpadów. Podobne, do opisanych wyżej, próby przeprowadzono dla różnych materiałów organicznych. W OBRUM-Gliwice próby wykonano z odpadami kuchennymi i trawą. W Zakładzie Przerobu i Składowania Materiałów w Ogrodzieńcu urządzenie EKO-2000 przerabia odpady z rzeźni (treści jelitowe i żołądkowe) na osnowie igliwia z żywicą będącym odpadem z zakła-

du produkującego kalafonie. Kilkuletnie doświadczenia w dziedzinie kompostowania odpadów urządzeniem EKO-2000 pozwalają stwierdzić, że nadaje się ono głównie do kompostowania uciążliwych (cuchnących) odpadów spożywczych, ze względu na krótki czas dezaktywacji odpadów. Aktualnie proponowane systemy przyspieszonego kompostowania są znacznie droższe, również ich eksploatacja jest kosztowniejsza. W przypadku odpadów nieuciążliwych tradycyjne metody przymowania mogą okazać się bardziej ekonomiczne. Słabym punktem kompostownika jest brak możliwości kontroli przebiegu procesu. Stąd duże znaczenie technologii przygotowywania wsadu.

UTILIZATON'S TECHNOLOGY OF WASTE ORGANIC MATERIALS IN THE COMPOSTING DEVICE TYPE EKO-2000

Abstract: The elaboration contains a description of practical experiences and comments which are a result of attempts of composting organic waste materials with a rotary composting device called EKO-2000, produced by OBRUM Gliwice. The appliance and the course of composting of the alimentary industry sewer sediments is presented.

Zygmunt Towarek*

WPLYW PODATNOŚCI PODŁOŻA GRUNTOWEGO NA WYBRANE RUCHY ROBOCZE KOPAREK I ŻURAWI

Streszczenie: W pracy rozpatrzono dynamikę przestrzennych modeli samojezdnego żurawia wysięgnikowego, oraz koparki jednonaczyniowej na podwoziu gąsienicowym, z uwzględnieniem podatności odkształcalnego podłoża. Przyjęto że rozpatrywane maszyny robocze posadowione są na podłożu gruntowym które zamodelowano sprężysto-plastycznym ciałem Kelvina-Voigta, przenoszącym obciążenia rozłożone na powierzchni współpracy elementów podpierających z gruntem, dla żurawia cztery podpory kołowe, dla koparki dwie gąsienice napędowe. Maszyny robocze potraktowano jako układy sztywnych brył połączonych odpowiednio ze sobą, w których poszczególne masy odpowiadają podstawowym elementom składowym maszyn. Przyjęto współrzędne uogólnione umożliwiające analizę dynamiczną ruchów roboczych, dla żurawia 14 współrzędnych i dla koparki 6 współrzędnych uogólnionych. Dynamiczne przemieszczenia wynikające z zakresu pracy tych maszyn wyznaczono w oparciu o równania Lagrange'a II rodzaju dla więzów holonomicznych. Otrzymane układy równań różniczkowych, nieliniowych, dla żurawia i koparki rozwiązano numerycznie, dla danych liczbowych charakteryzujących żuraw samochodowy HYDROS-T 161 z wysięgnikiem o długości 20 m. i koparki gąsienicowej, jednonaczyniowej o pojemności łyżki 0.65 m³. Wyniki przedstawiono na wykresach.

1. Wstęp

Samojezdne żurawie wysięgnikowe oraz koparki są najczęściej stosowanymi maszynami ciężkimi w pracach terenowych. Różnorodność obszaru zastosowań tych maszyn narzuca kierunki prowadzonych badań naukowych, z których na pierwszym miejscu znajdują się opracowania dotyczące automatycznego sterowania i bezpieczeństwa pracy. Ważnym elementem tego bezpieczeństwa, jest zapewnienie stateczności posadowienia maszyny w czasie wykonywania ruchów robo-

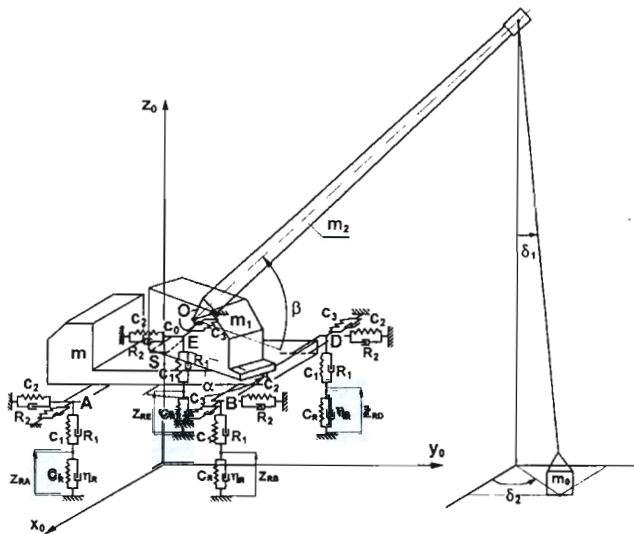
* Katedra Mechaniki Ogólnej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka, ul. Stefanowskiego 1/15 90-924 Łódź.

czych. Tak żuraw jak i koparka, jako maszyny w których obciążenie użytkowe znajduje się poza obrysem przestrzeni ograniczonej punktami podparcia, narażone są wyjątkowo na wywrócenie. Powoduje to konieczność instalowania ograniczników obciążenia oraz wprowadzenia systemu monitorowania.

Opracowanie odpowiednich systemów sterowania, a także kontroli, wymaga dokładnego opisu dynamicznego maszyny roboczej, uwzględniającego rzeczywiste, czyli odkształcalne podłoże gruntowe. Nawet najmniejsze odkształcenie tego podłoża powoduje znaczne różnice w przemieszczeniach dynamicznych poszczególnych węzłów maszyny, w stosunku do podłoża sztywnego. Na przykład, trajektoria ładunku podnoszonego w żurawach, czy tor krawędzi łyżki w koparkach. Chcąc więc zapewnić odpowiednią dokładność automatycznego sterowania, czy stateczność posadowienia, analiza dynamiczna maszyny roboczej posadowionej na podłożu gruntowym, powinna koniecznie obejmować odkształcenie gruntu od zmiennych nacisków elementów podporowych.

2. Analiza dynamiczna żurawia wysięgnikowego

Do opisu dynamicznego żurawia posadowionego na gruncie, przyjęto model fizyczny jako przestrzenny dyskretny układ mas połączony z podłożem sprężystości. W modelu przedstawionym na rys.1 wyróżniono następujące masy:



Rys. 1. Dyskretny model żurawia przyjęty do obliczeń

- m – sztywna bryła o sześciu stopniach swobody zawieszona na dwunastu bezmasowych sprężynach, stanowiąca masę podwozia.
- m_1 – sztywna bryła połączona obrotowo z podwoziem, stanowiąca platformę żurawia.
- m_2 – sztywny element belkowy połączony podatnym przegubem z platformą, stanowiąca wysięgnik żurawia.
- m_0 – punkt materialny zawieszony na sprężystej linii na końcu wysięgnika, stanowiący ciężar podnoszony wraz ze zbloczem.

Cały układ spoczywa na odkształcalnym gruncie, którego ugięcie wynikające z nacisku podpór opisane jest dyskretnym modelem reologicznym Kelvina-Voigta. Zastępczy współczynnik podatności podłoża gruntowego wyznaczono wg. Hipotezy Winklera [4]. Współczynnik ten wynosi:

$$E = \frac{\pi \cdot E_0 \cdot D}{4 \cdot \omega_s \cdot (1 - \nu_0^2)} \quad (1)$$

gdzie:

- E_0 – moduł odkształcenia gruntu (dla gruntu mineralnego, rodzimego, twardoplastycznego, średniospoistego $E_0=35-19$ Mpa),
- ω_s – współczynnik sztywności i kształtu stopy,
- D – średnica stopy,
- ν_0 – współczynnik rozszerzalności bocznej.

Ponieważ przeprowadzone badania eksperymentalne wykazały dużą plastyczność gruntu, przyjęto uproszczenie że podczas odciażania grunt się nie rozpręża lecz pozostaje w stanie odkształconym.

Dynamikę ruchu przyjętego układu dyskretnego opisano dynamicznymi równaniami Lagrange’a II rodzaju we współrzędnych uogólnionych. Wektor przyjętych współrzędnych uogólnionych zgodnie z rys. 1 ma postać:

$$\mathbf{q} = [x, y, z, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \psi, \eta, \delta_1, \delta_2, z_{RA}, z_{RB}, z_{RD}, z_{RE}] \quad (2)$$

gdzie:

- x, y, z – przemieszczenie liniowe środka masy bryły m względem stałego układu osi współrzędnych x_0, y_0, z_0 .
- $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – kąty oscylacji masy m względem układu osi x, y, z związanych ze środkiem masy „S” bryły o masie m .
- ψ – przemieszczenie katowe wysięgnika opisane względem układu osi współrzędnych x_2, y_2, z_2 związanych ze środkiem masy S_2 ciała o masie m_2 .

η – wydłużenie sprężyste liny wyznaczone względem końca wysięgnika.

δ_1, δ_2 – kąty opisujące położenie masy m_0 w układzie osi związanych z końcem wysięgnika.

$z_{RA}, z_{RB}, z_{RD}, z_{RE}$ – współrzędne opisujące odkształcenie reologiczne gruntu.

Ponadto dwie współrzędne katowe α i β opisujące odpowiednio, obrót żurawia i pochylenie wysięgnika.

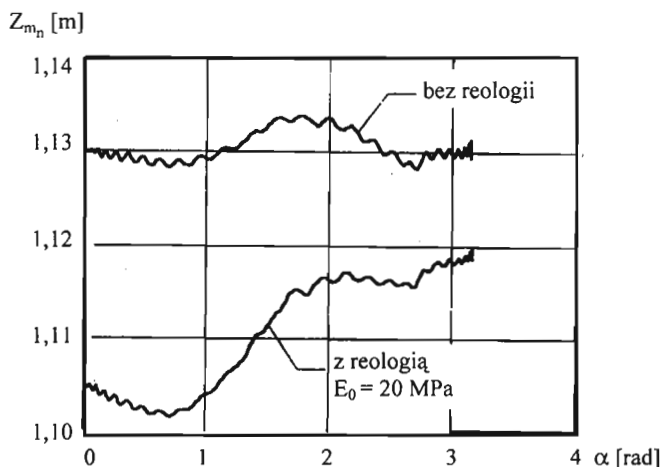
$$\alpha = \alpha(t); \quad \beta = \beta(t) \quad (3)$$

Po wyznaczeniu energii kinetycznej, potencjalnej i funkcji dysypacji analizowanego układu, oraz ich pochodnych względem prędkości uogólnionych i czasu, oraz względem współrzędnych uogólnionych, wstawiono otrzymane wyrażenia do ogólnego równania Lagrange'a II rodzaju, otrzymując układ ośmiu równań różniczkowych, nieliniowych, drugiego rzędu, względem współrzędnych uogólnionych $x, y, z, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \psi, \eta$, sprzężonych ze sobą drugimi pochodnymi, dwa równania różniczkowe nieliniowe rzędu drugiego, rozprężone względem przyspieszeń odpowiadających współrzędnym δ_1, δ_2 , oraz cztery równania różniczkowe rzędu pierwszego opisujące odkształcenie reologiczne gruntu.

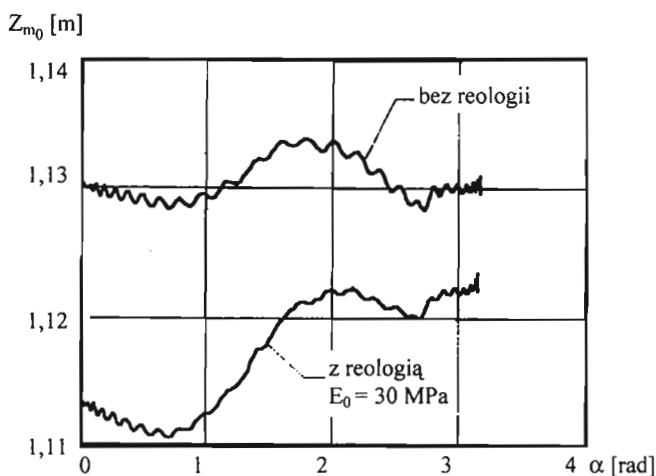
Otrzymany układ czternastu równań różniczkowych rozwiązano numerycznie dla dwu ruchów roboczych, podnoszenia ładunku oraz obrotu żurawia. Obliczenia przeprowadzono dla danych liczbowych charakteryzujących żuraw samochodowy HYDROS-T 161 z wysięgnikiem o długości 20 m. o wartości mas podwozia, platformy, wysięgnika i ciężaru podnoszonego odpowiednio [2]:

$$m = 16000 \text{ kg.}, m_1 = 1900 \text{ kg.}, m_2 = 3900 \text{ kg.}, m_0 = 7000 \text{ kg.},$$

i zastępczym module odkształcenia gruntu mineralnego, rodzimego, twardoplastycznego, średniospoistego [4] wynoszącym $E_0 = 19\text{-}35 \text{ MPa}$.



Rys.2. Rozwinięcie toru ładunku podnoszonego w funkcji obrotu wysięgnika dla $\dot{\alpha} = 0.16 \text{ s}^{-1}$



Rys. 3. Rozwinięcie toru ładunku podnoszonego w funkcji obrotu wysięgnika dla $\dot{\alpha} = 0.16 \text{ s}^{-1}$

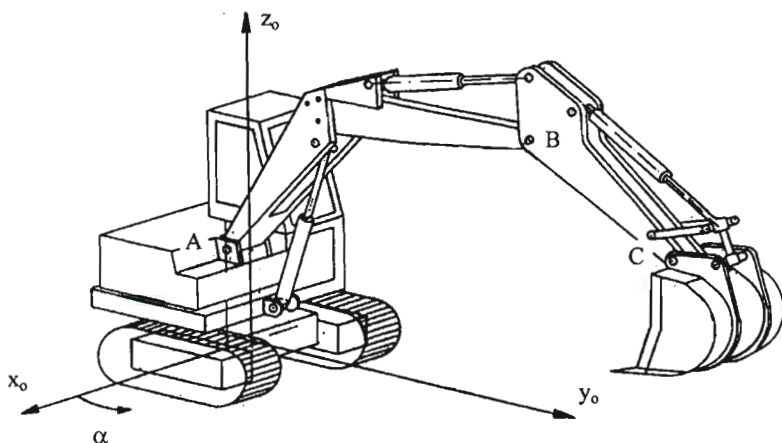
W wyniku przeprowadzonych obliczeń, wyznaczono siły w linie w czasie podrywania ładunku, oraz przemieszczenia podpór w czasie napinania liny. Przeprowadzono również obliczenia dynamiczne dla ruchu roboczego związanego z obrotem wysięgnika. Przykładowe przebiegi trajektorii ładunku podnoszonego

w funkcji obrotu wysięgnika dla prędkości obrotowej $\dot{\alpha} = 0.16 \text{ s}^{-1}$ przedstawiono na wykresach.

3. Analiza dynamiczna koparki jednoznaczyniowej

Do analizy dynamicznej koparki, przyjęto jej model fizyczny, jako dyskretny układ nieodkształcalnych mas połączonych ze sobą odpowiednimi więzami. Model takiej koparki jednoznaczyniowej przedstawiono na rys. 4. Składa się on z wyodrębnionych mas odpowiadających poszczególnym elementom koparki:

- m_1 – masa podwozia – sztywna bryła spoczywająca gąsienicami na odkształcalnym podłożu gruntowym.
- m_2 – masa nadwozia – sztywna bryła połączona z podwoziem i mogąca dodatkowo wykonywać względem podwozia ruch obrotowy.
- m_3 – masa wysięgnika koparki – sztywny element połączony z nadwoziem przegubem walcowym (punkt A na rys.4).
- m_4 – masa ramienia koparki – sztywny element leżący w jednej płaszczyźnie z wysięgnikiem i połączony z nim przegubem walcowym (punkt B na rys.4).
- m_5 – masa łyżki koparki – sztywny element zamocowany przegubem walcowym z ramieniem, leżący w jednej płaszczyźnie z wysięgnikiem i ramieniem (punkt C na rys.4).



Rys. 4. Model fizyczny koparki jednoznaczyniowej

Do wyznaczenia energii kinetycznej całego układu, w stałym układzie osi x_0, y_0, z_0 , przyjęto lokalne układy osi współrzędnych związane z środkami masy poszczególnych elementów. Wyznaczone składowe prędkości liniowych i kątowych w układach lokalnych przetransponowano macierzami transformacji do układu stałego, wyznaczając całkowitą energię kinetyczną przyjętego modelu koparki jako sumę energii kinetycznych poszczególnych mas.

Równania dynamiczne ruchu modelu dyskretnego koparki wyprowadzono w oparciu o różniczkowe równania Lagrange'a II rodzaju we współrzędnych uogólnionych. Wektor tych współrzędnych zgodnie z rys. 4 ma postać:

$$\mathbf{q} = [x, y, z, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3] \quad (4)$$

gdzie:

x, y, z – przemieszczenie liniowe środka masy m_1 względem stałego układu osi współrzędnych x_0, y_0, z_0 , pokrywającym się ze środkiem masy podwozia w stanie nie odkształconego podłoża,

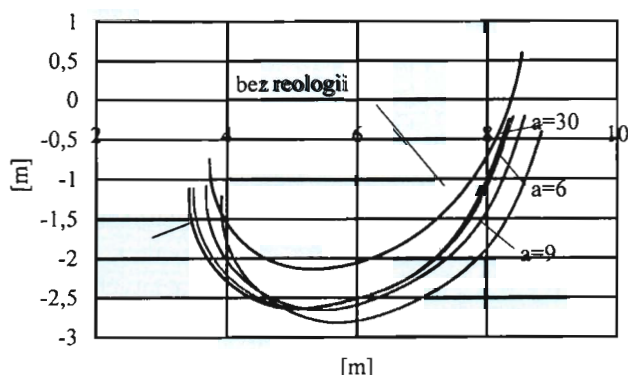
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – kąty oscylacji masy podwozia m_1 względem układu osi x, y, z , o początku w środku masy m_1 , sztywno związanych z podwoziem.

Ponadto przyjęto współrzędne jako znane funkcje czasu, opisujące położenie nadwozia względem podwozia – kątem $\alpha = \alpha(t)$, wysięgnika względem nadwozia – kątem $\beta_1 = \beta_1(t)$, ramienia względem wysięgnika – kątem $\beta_2 = \beta_2(t)$, oraz łyżki względem ramienia – kątem $\beta_3 = \beta_3(t)$. Dla tak przyjętych współrzędnych opisujących położenie koparki w stałym układzie osi, oraz jej elementów względem siebie, wyznaczono energię kinetyczną i potencjalną, oraz siły dyssypacyjne podłoża gruntowego i siły uogólnione pochodzące od sił skrawania – stycznej i normalnej do toru krawędzi łyżki. Energia potencjalna odkształcenia podłoża gruntowego, zgodnie z poczynionym założeniem że podłoże gruntowe jest plastyczne, wyznaczono na podstawie przemieszczeń gąsienic koparki wynikających z przemieszczenia liniowego środka masy podwozia i oscylacji względem osi związanych z podwoziem, tylko w czasie ściskania gruntu, natomiast składowe siły skrawania przyjęto jako proporcjonalne do składowych prędkości krawędzi łyżki [3].

Po wyznaczeniu sił dyssypacyjnych podłoża, oraz sił uogólnionych od sił oporów skrawania, przeprowadzono formalne procedury matematyczne na wyznaczonych funkcjach energii i sił, otrzymując układ sześciu równań różniczkowych drugiego rzędu, sprzężonych nieliniowo ze sobą. Otrzymany układ równań różniczkowych, nieliniowych rozwiązano numerycznie, dla danych liczbowych charakteryzujących koparkę hydrauliczną o pojemności łyżki 0.65 m^3 [5], oraz procesu urabiania gruntu siłownikiem ramienia i łyżki, przyjmując przebiegi zmiany kątów

ramienia względem wysięgnika $\beta_2 = \beta_2(t)$ i łyżki względem ramienia $\beta_3 = \beta_3(t)$. Czas opóźnienia włączenia siłownika łyżki wynosił $t = 3.8$ s.

Obliczenia wykonano dla zastępczej podatności podłoża gruntowego w kierunku pionowym $c_z = 9 \cdot 10^5$ (N/m²)/m i warunków początkowych zgodnych ze statycznym odkształceniem podłoża. Przykładowe przebiegi trajektorii krawędzi łyżki koparki dla kilku położań wysięgnika względem podwozia określonym kątem α , przedstawiono na wykresie.



Rys. 5. Trajektorie krawędzi skrawającej łyżki koparki, bez uwzględnienia reologicznego odkształcenia gruntu i z reologią dla różnych położań wysięgnika względem podwozia

4. Uwagi końcowe

Otrzymane wyniki obliczeń dynamicznych żurawia wysięgnikowego, oraz koparki jednonaczyniowej na podwoziu gąsienicowym, z uwzględnieniem podatności podłoża gruntowego wskazują, że odkształcenie reologiczne gruntu pod elementami podpierającymi maszynę roboczą mają znaczący wpływ na dynamikę wybranych ruchów roboczych związanych ze zmianą pionowych nacisków podpór. I tak z obliczeń dynamicznych dla żurawia, przedstawionych na rys. 2 i 3, można odczytać pozycję ładunku na początku i końcu cyklu roboczego związanego z obrotem wysięgnika. Jak wynika z otrzymanych przebiegów przesunięcie położenia ładunku w stosunku do podłoża sztywnego, zależy wyraźnie od parametrów przyjętego gruntu. Dla podłoża sztywnego położenie początkowe i końcowe wynosi 1.13 m., dla podłoża odkształcalnego współrzędna położenia ładunku na początku cyklu i na końcu ma różne wartości i zależy od modułu odkształcenia E_0 .

Z obliczeń dynamicznych dla koparki na podwoziu gąsienicowym, które przedstawiono na rys.5 widać, że przebieg trajektorii krawędzi łyżki koparki otrzymany dla podłoża podatnego odbiega wyraźnie od toru krawędzi łyżki przy podłożu sztywnym, z niewielkimi różnicami w zależności od kąтового położenia wysięgnika. Więcej wyników zostanie przedstawionych na konferencji.

Literatura

1. **Towarek Z.:** Effect of non-linear soil on the dynamics of the crane during rope tightening. Machine Dynamics Problems. Vol. 15, 1996 p 97-109.
2. **Towarek Z.:** The Dynamic Stability of a Crane Standing on Soil During the Rotation of the Boom. International Journal of Mechanical Sciences. Vol 40, No.6 p 557-574.
3. **Konopka S.:** Obciążenie osprzętu roboczego maszyn do prac ziemnych w procesie urabiania gruntu. WAT Warszawa 1991.
4. **Wiłun Z.:** Zarys geotechniki. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1987.
5. **Brach I., Walczewski R.:** Koparki Jednonaczyniowe. WNT Warszawa 1982.

THE INFLUENCE OF A DEFORMABILITY OF THE GROUND ON CHOSEN MOTIONS OF WORKING CRANES AND EXCAVATORS

Abstract: The work is dedicated to the analysis of dynamics of three-dimensional models of a self-propelled jib crane and a single bucket excavator on caterpillar chassis, taking into account a deformability of the ground. It was assumed that the subject matter working machines are located on the ground bed which was modeled with an elastic-plastic Kelvin-Voigt body transferring loads distributed on mating surfaces of supporting elements with the ground, for the crane four wheel supports, for the excavator two propelled caterpillars. Working machines were regarded as sets of rigid solids combined appropriately with each other, in which particular masses correspond to basic constituents of the machines. Generalized coordinates were accepted, enabling a dynamic analysis of working movements, for the crane 14 generalized coordinates and for the excavator 6 generalized coordinates. Dynamic relocations resulting from the scope of operation of those machines were determined based on the Lagrangian function of the 2nd type for holonomic associations. Obtained systems of differential, nonlinear equations for the crane and the excavator were numerically solved for data characterizing the car crane HYDROS-T 161 with the jib of 20 m length and caterpillar single bucket excavator with the bucket capacity of 0,65 m³. Results are presented on the charts.

Andrzej Witek*, Ali Abdulrazaq *

WIBROIZOLACJA MASZYN POSADOWIONYCH NA STROPACH BUDYNKU

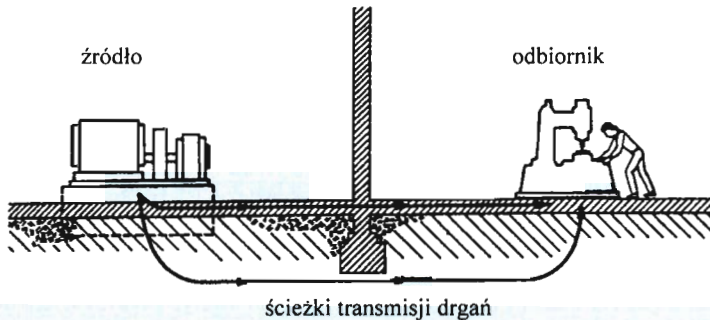
Streszczenie: Przedstawiono analizę sprzężeń w układzie DBP (maszyny o dużej dynamiczności – budynek – maszyny precyzyjne) w przypadku jednoczesnego stosowania wibroizolacji siłowej i przemieszczeniowej. Wysłunięto tezę, że w przypadku maszyn posadowionych na stropach, nie można stosować modelu jednokierunkowej transmisji drgań, od maszyn o dużej dynamiczności do maszyn precyzyjnych. Słuszność tezy potwierdzono obliczeniami charakterystyk dynamicznych modelu układu DBP uwzględniającego wszystkie sprzężenia i dla modelu jednokierunkowej transmisji drgań.

1. Wprowadzenie

Często w halach budynków przemysłowych są instalowane zarówno maszyny o dużej dynamiczności, będące źródłem drgań, jak i maszyny precyzyjne, wrażliwe na drgania generowane w ich otoczeniu. W celu zmniejszenia szkodliwego wpływu drgań na jakość pracy maszyn stosowane są różne metody i środki minimalizacji drgań. Jedną z tych metod jest wibroizolacja, polegająca na posadowieniu maszyn na podatnych podkładkach, tzw. wibroizolatorach. W praktyce występują dwa rodzaje wibroizolacji: wibroizolacja siłowa, której celem jest izolacja podłoża od sił generowanych w maszynie – oraz wibroizolacja przemieszczeniowa, której celem jest ochrona maszyn precyzyjnych przed drganiami podłoża. W kompleksowej analizie wibroizolacji najczęściej przyjmuje się model jednokierunkowej transmisji drgań, od maszyn o dużej dynamiczności do maszyn precyzyjnych (rys.1). Oznacza to, że przyjmuje się a priori założenie o braku sprzężeń zwrotnych, tj. oddziaływań ruchu podłoża na dynamiczne zachowanie maszyn, będących źródłem drgań, a także oddziaływań drgań maszyn precyzyjnych na ruch fundamentu, na którym

* Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Szczecińska, Aleja Piastów 19, 70-310 Szczecin

te maszyny zostały posadowione. Czy można pomijać te sprzężenia zwrotne w przypadku maszyn posadowionych na stropach budynków, charakteryzujących się często znaczną podatnością? Niniejsza praca stanowi próbę odpowiedzi na to pytanie.

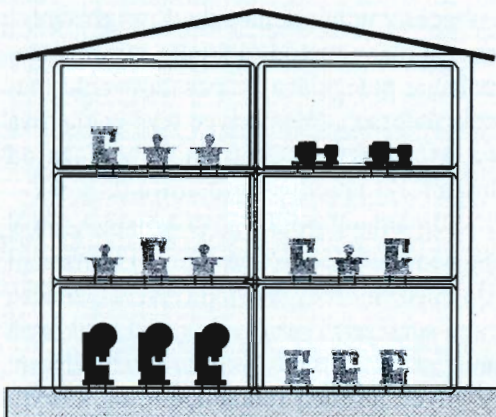


Rys. 1. Model jednokierunkowej transmisji drgań [3]

2. Układ DBP – maszyny o dużej dynamiczności – – budynek – maszyny precyzyjne

Budynek wielokondygnacyjny wraz z maszynami posadowionymi na stropach stanowi, w sensie dynamiki układów mechanicznych, ciągły układ masowo-

tłumiąco-sprężysty (układ MTS). Na układ ten działają wymuszenia siłowe i kinematyczne. Jeżeli w budynku znajdują się maszyny o dużej dynamiczności, to podczas ich pracy powstają zmienne w czasie obciążenia, które jako reakcje są przenoszone na stropy i wzbudzają ich drgania. Drgania stropów są przenoszone różnymi ścieżkami przez konstrukcję nośną budynku i oddziałują szkodliwie na pracę maszyn i urządzeń precyzyjnych. W celu opisanie relacji zachodzących między siłami i przemieszczeniami, dokonuje się



Rys. 2. Budynek wielokondygnacyjny z maszynami

podziału rzeczywistego układu, jaki tworzy budynek z posadowionymi w nim maszynami, na podukłady [1,4]:

- podukład D, który tworzą maszyny o dużej dynamiczności,
- podukład B, który tworzy konstrukcja nośna budynku,
- podukład P, który tworzą maszyny i urządzenia precyzyjne,
- podukłady DB i BP jako podukłady wzajemnego oddziaływania pomiędzy podukładami D, P i B.

Ruch modelu układu DBP opisuje równanie macierzowe:

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{L} \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K} \mathbf{q} = \mathbf{p} \quad (1)$$

gdzie: $\mathbf{M}$ – macierz bezwładności, $\mathbf{L}$ – macierz tłumienia, $\mathbf{K}$ – macierz sztywności, $\mathbf{q}$ – wektor przemieszczeń uogólnionych, $\mathbf{p}$ – wektor sił uogólnionych.

Równanie ruchu (1) układu DBP, po uwzględnieniu podziału na podukłady D, B, P, oraz DB i BP przyjmuje postać:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_D & & \\ & \mathbf{M}_B & \\ & & \mathbf{M}_P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}}_D \\ \ddot{\mathbf{q}}_B \\ \ddot{\mathbf{q}}_P \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{L}_D + \mathbf{L}_{DB} & \mathbf{L}_{DB}^* & \\ \mathbf{L}_{BD}^* & \mathbf{L}_B + \mathbf{L}_{BD} + \mathbf{L}_{BP} & \mathbf{L}_{BP}^* \\ & \mathbf{L}_{PB}^* & \mathbf{L}_P + \mathbf{L}_{PB} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{q}}_D \\ \dot{\mathbf{q}}_B \\ \dot{\mathbf{q}}_P \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_D + \mathbf{K}_{DB} & \mathbf{K}_{DB}^* & \\ \mathbf{K}_{BD}^* & \mathbf{K}_B + \mathbf{K}_{BD} + \mathbf{K}_{BP} & \mathbf{K}_{BP}^* \\ & \mathbf{K}_{PB}^* & \mathbf{K}_P + \mathbf{K}_{PB} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{q}_D \\ \mathbf{q}_B \\ \mathbf{q}_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_D \\ \mathbf{p}_B \\ \mathbf{p}_P \end{bmatrix} \quad (2)$$

W układzie równań (2) indeksy D , B , P , oznaczają przyporządkowanie poszczególnych bloków macierzy podukładom D , B , P , natomiast indeksy DB , BD , BP , PB są związane z blokami macierzy, które opisują sprężysto-tłumiące sprzężenia między podukładami D , B i P .

Po wykonaniu mnożenia bloków w równaniu (2), a następnie wykonaniu transformacji według Laplace'a i podstawieniu $s = i\omega$, otrzymuje się układ trzech równań macierzowych w dziedzinie częstotliwości:

$$\begin{aligned} & [\mathbf{K}_D - \omega^2 \mathbf{M}_D + i\omega \mathbf{L}_D] \mathbf{q}_D(i\omega) + [\mathbf{K}_{DB} + i\omega \mathbf{L}_{DB}] \mathbf{q}_D(i\omega) = \\ & = \mathbf{p}_D(i\omega) - [\mathbf{K}_{DB}^* + i\omega \mathbf{L}_{DB}^*] \mathbf{q}_B(i\omega) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & [\mathbf{K}_B - \omega^2 \mathbf{M}_B + i\omega \mathbf{L}_B] \mathbf{q}_B(i\omega) + [\mathbf{K}_{BD} + i\omega \mathbf{L}_{BD}] \mathbf{q}_B(i\omega) + [\mathbf{K}_{BP} + i\omega \mathbf{L}_{BP}] \mathbf{q}_B(i\omega) = \\ & = \mathbf{p}_B(i\omega) - [\mathbf{K}_{BD}^* + i\omega \mathbf{L}_{BD}^*] \mathbf{q}_D(i\omega) - [\mathbf{K}_{BP}^* + i\omega \mathbf{L}_{BP}^*] \mathbf{q}_P(i\omega) \end{aligned} \quad (4)$$

$$[\mathbf{K}_P - \omega^2 \mathbf{M}_P + i\omega \mathbf{L}_P] \mathbf{q}_P(i\omega) + [\mathbf{K}_{PB} + i\omega \mathbf{L}_{PB}] \mathbf{q}_P(i\omega) = \mathbf{p}_P(i\omega) - [\mathbf{K}_{PB}^* + i\omega \mathbf{L}_{PB}^*] \mathbf{q}_B(i\omega) \quad (5)$$

Równania (3) i (5) opisują ruch podukładów D i P przy wymuszeniach siłowych $\mathbf{p}_D$, $\mathbf{p}_P$ oraz kinematycznym $\mathbf{q}_B$, wywołanym ruchem podukładu B. Równanie (4) opisuje ruch podukładu B przy oddziaływaniu na niego zewnętrznych wymuszeń siłowych $\mathbf{p}_B$ oraz wewnętrznych wymuszeń siłowych, wywołanych drganiami $\mathbf{q}_D$ i $\mathbf{q}_P$ podukładów D i P.

Układ równań (3-5) można zapisać w postaci:

$$\mathbf{A}_D(i\omega) \mathbf{q}_D(i\omega) = \mathbf{p}_D(i\omega) - \mathbf{A}_{DB}^*(i\omega) \mathbf{q}_B(i\omega) \quad (6)$$

$$\mathbf{A}_B(i\omega) \mathbf{q}_B(i\omega) = \mathbf{p}_B(i\omega) - \mathbf{A}_{BD}^*(i\omega) \mathbf{q}_D(i\omega) - \mathbf{A}_{BP}^*(i\omega) \mathbf{q}_P(i\omega) \quad (7)$$

$$\mathbf{A}_P(i\omega) \mathbf{q}_P(i\omega) = \mathbf{p}_P(i\omega) - \mathbf{A}_{PB}^*(i\omega) \mathbf{q}_B(i\omega) \quad (8)$$

przy czym nowe macierze określa się zgodnie z następującą zasadą:

$$\mathbf{A}_X(i\omega) = \left[[\mathbf{K}_X - \omega^2 \mathbf{M}_X] + i\omega \mathbf{L}_X \right] + [\mathbf{K}_{XY} + i\omega \mathbf{L}_{XY}] \quad (9)$$

$$\mathbf{A}_{XY}^*(i\omega) = \mathbf{K}_{XY}^* + i\omega \mathbf{L}_{XY}^*, \text{ dla } X, Y = D, B, P. \quad (10)$$

Po zdefiniowaniu częstotliwościowych funkcji przejścia podukładów D, B i P jako:

$$\mathbf{W}_D(i\omega) = \mathbf{A}_D^{-1}(i\omega), \quad \mathbf{W}_B(i\omega) = \mathbf{A}_B^{-1}(i\omega), \quad \mathbf{W}_P(i\omega) = \mathbf{A}_P^{-1}(i\omega) \quad (11)$$

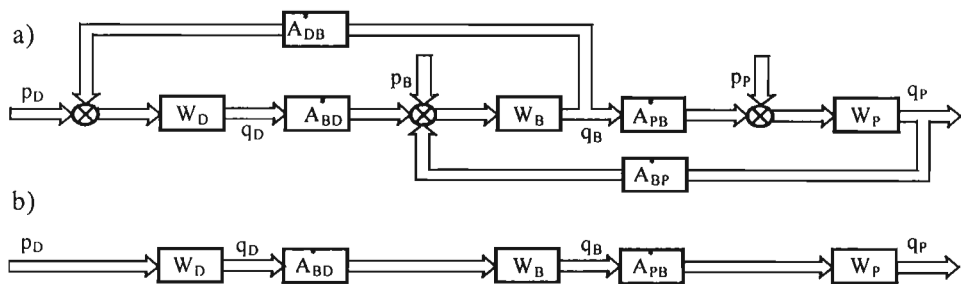
układ równań (6-8) przyjmuje postać:

$$\mathbf{q}_D(i\omega) = \mathbf{W}_D(i\omega) \left[\mathbf{p}_D(i\omega) - \mathbf{A}_{DB}^*(i\omega) \mathbf{q}_B(i\omega) \right] \quad (12)$$

$$\mathbf{q}_B(i\omega) = \mathbf{W}_B(i\omega) \left[\mathbf{p}_B(i\omega) - \mathbf{A}_{BD}^*(i\omega) \mathbf{q}_D(i\omega) - \mathbf{A}_{BP}^*(i\omega) \mathbf{q}_P(i\omega) \right] \quad (13)$$

$$\mathbf{q}_P(i\omega) = \mathbf{W}_P(i\omega) \left[\mathbf{p}_P(i\omega) - \mathbf{A}_{PB}^*(i\omega) \mathbf{q}_B(i\omega) \right] \quad (14)$$

Układ równań (12-14) można przedstawić w postaci schematu blokowego (rys. 3a), analogicznego do schematów stosowanych w teorii układów sterowania. Schemat ten poglądowo ilustruje wszystkie sprzężenia występujące w układzie DBP. Wynika z niego, że między podukładami zachodzą złożone oddziaływania, co oznacza, że drgania każdego z nich zależą od drgań pozostałych podukładów.



Rys. 3. Relacje między sygnałami w układzie DBP: a) ze sprzężeniami, b) bez sprzężeń zwrotnych

W analizie wibroizolacji maszyn często przyjmuje się założenie o nieistotności sprzężeń zwrotnych o indeksach DB i BP . Jeżeli przyjmie się ponadto, że siły uogólnione p_B i p_P przyjmują wartości zerowe, to transmisję drgań można wówczas przedstawić za pomocą schematu blokowego z rysunku 3b. W wyniku przyjęcia powyższych założeń układ równań (12-14) upraszcza się do postaci:

$$q_D(i\omega) = W_D(i\omega) p_D(i\omega) \quad (15)$$

$$q_B(i\omega) = -W_B(i\omega) A_{BD}^*(i\omega) q_D(i\omega) \quad (16)$$

$$q_P(i\omega) = -W_P(i\omega) A_{PB}^*(i\omega) q_B(i\omega) \quad (17)$$

Na podstawie układu równań (15-17) wyznacza się macierz częstotliwościowych funkcji przejścia układu DBP, opisującą odpowiedzi układu - przemieszczenia maszyn precyzyjnych p_P - na wymuszenia siłowe q_D generowane w maszynach o dużej dynamiczności:

$$q_P(i\omega) = W_{PD}(i\omega) p_D(i\omega) \quad (18)$$

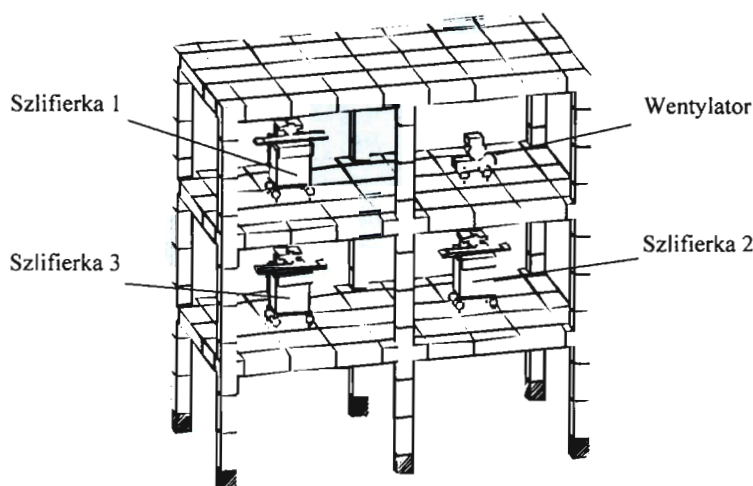
przy czym

$$W_{PD}(i\omega) = W_P(i\omega) A_{PB}^*(i\omega) W_B(i\omega) A_{BD}^*(i\omega) W_D(i\omega) \quad (19)$$

Czy przyjmowane powszechnie założenia upraszczające są słuszne można dopiero stwierdzić po porównaniu wyników obliczeń uzyskanych na podstawie równania (18) z wynikami uzyskanymi dla uwzględniającego wszystkie sprzężenia modelu układu DBP, opisanego układem równań (2).

3. Obliczenia funkcji przejścia między maszynami posadowionymi na stropach

Przykładowe obliczenia funkcji przejścia przeprowadzono dla układu DBP utworzonego z wentylatora, jako maszyny dynamicznej i trzech szlifierek, stanowiących podukład P maszyn precyzyjnych, posadowionych w budynku dwukondygnacyjnym (rys. 4).



Rys. 4. Model przykładowego układu DBP

Rzeczywisty układ DBP zastąpiono modelem zbudowanym ze sztywnych elementów skończonych [2]. Wentylator zastąpiono modelem jednomasowym o sześciu stopniach swobody, natomiast każdą ze szlifierek zastąpiono modelem zbudowanym z 4 sztywnych elementów skończonych. Właściwości dynamiczne stropów i kolumn opisano modelem zbudowanym ze 114 sztywnych elementów skończonych o sześciu stopniach swobody każdy.

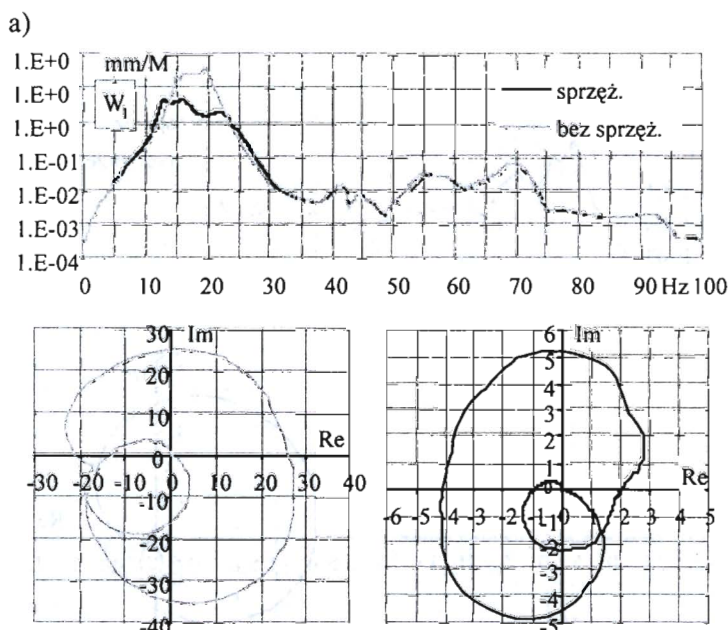
W celu wyznaczenia funkcji przejścia układu DBP przyjęto założenie, że w wentylatorze jest generowana zmienna okresowo siła odśrodkowa wymuszająca drgania w paśmie częstotliwości do 100 Hz. Dla tak zdefiniowanego modelu układu DBP wyznaczono funkcje przejścia

$$W_k(i\omega) = \frac{X_k(i\omega)}{Q(i\omega)} \quad (19)$$

gdzie: $X_k(i\omega)$ – pionowe przemieszczenia względne między ściernicą a przedmiotem obrabianym w k -tej szlifierce, $Q(i\omega)$ – siła pionowa generowana w wentylatorze.

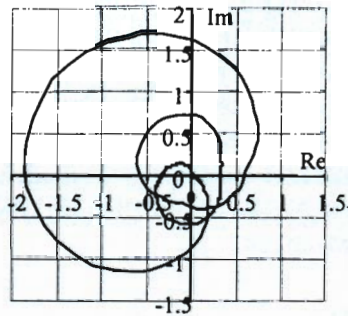
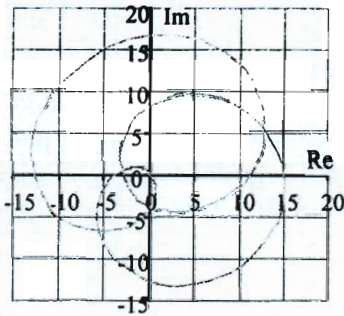
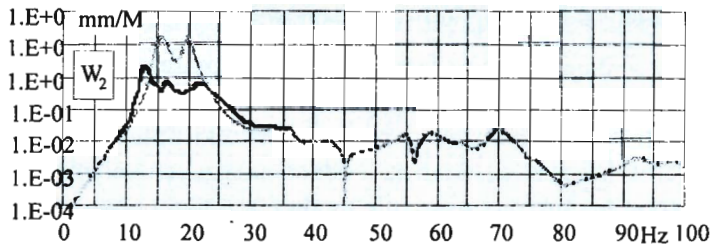
Obliczenia funkcji przejścia (19) prowadzono zgodnie ze schematami blokowymi z rysunku 3a i 3b, tj. z uwzględnieniem wszystkich sprzężeń w układzie i z pominięciem dwóch sprzężeń zwrotnych. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 5a,b,c. W każdym z „okienek”, odpowiadających kolejno szlifierkom 1, 2 i 3, zamieszczono na górze porównanie modułów funkcji przejścia, natomiast poniżej wykresy funkcji przejścia na płaszczyźnie zespolonej – z lewej dla modelu jednokierunkowej transmisji drgań (bez sprzężeń zwrotnych), z prawej strony dla układu ze wszystkimi sprzężeniami.

We wszystkich przypadkach w zakresie częstotliwości do ok. 40 Hz stwierdzono istotne różnice funkcji przejścia wyznaczonych dla obu modeli transmisji drgań. Oznacza to, że w obszarze niskich częstotliwości funkcję przejścia układu należy wyznaczać na podstawie modelu z uwzględnieniem wszystkich sprzężeń. Dopiero powyżej 40 Hz możliwe byłoby w analizowanym przykładzie pominięcie sprzężeń zwrotnych.

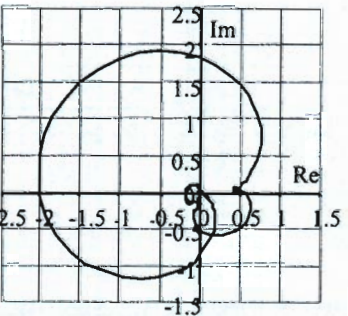
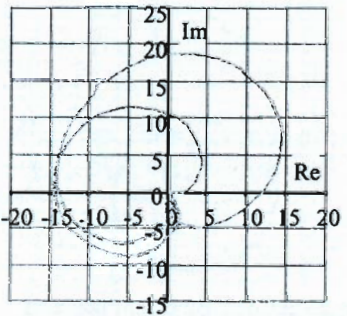
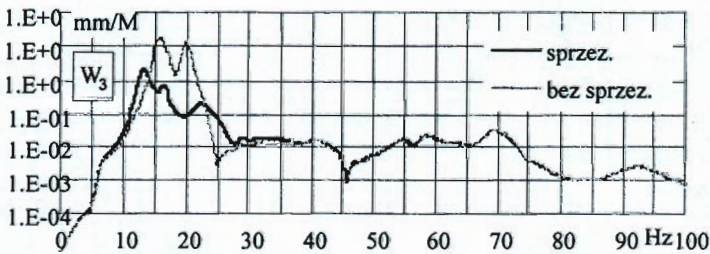


Rys. 5. Funkcje przejścia przykładowego układu DBP dla: a) szlifierki 1

b)



c)



Rys. 5 cd. Funkcje przejścia przykładowego układu DBP dla: b) szlifiarki 2, c) szlifiarki 3

4. Podsumowanie

Wykazano, że przyjmowanie a priori założenia o możliwości pomijania sprzężeń zwrotnych występujących w rzeczywistym układzie DBP może prowadzić do wyznaczenia funkcji przejścia tego układu, obarczonych istotnymi błędami. Jak wynika z zamieszczonego przykładu obliczeniowego, istotne różnice funkcji przejścia mogą wystąpić w paśmie niskich częstotliwości, a więc w obszarze bardzo ważnym w ocenie skuteczności wibroizolacji maszyn.

Literatura

1. **Craig R.R.**, Substructure Method in Vibration, Trans. of the ASME, June 1995, vol. 117, s.207-213.
2. **Kruszewski J., i in.**, Metoda sztywnych elementów skończonych, Warszawa, Arkady 1975.
3. **Macinante J.A.**, Seismic Mountings for Vibration Isolation, Wiley & Sons, New York 1984.
4. **Witek A., Ali Abdulrazaq**, Active and passive isolation of machines founded on building floors, w: Proc. of the Tenth World Congress on the TMM, Finlandia, Oulu 1999, vol.5, s.2174-2179.

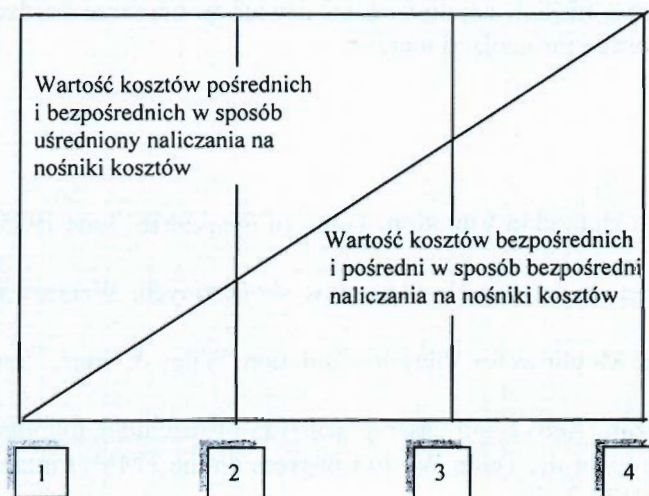
VIBRATION ISOLATION OF MACHINES FOUNDED ON BUILDING FLOORS

Abstract: This paper presents analysis of feedback in DBP system (high Dynamic machines- Building – Precise machines) in simultaneous case of active and passive vibration isolation. The nominated thesis, is that in case of machines founded on floor of building, it is not possible to use model of transmission of one-way oscillation, from high dynamic machines to precise machines. Justness of thesis are confirmed by computations of dynamic characteristics of DBP system, model that takes into account all feedbacks and model that includes only one-way transmission of oscillation.

DOKŁADNOŚĆ OBLICZEŃ



RÓŻNORODNOŚĆ WYROBÓW



- | | |
|---|--|
| 1 | 11 Kalkulacja podziałowa prosta |
| 2 | 11 Kalkulacja doliczeniowa prosta |
| 3 | 11 Kalkulacja doliczeniowa według miejsc powstania kosztów |
| 4 | 11 Kalkulacja doliczeniowa według działań na nośnikach kosztów |

Rys. 1. Udział poszczególnych kosztowych w nośnikach kosztów [3].

W pierwszym przypadku należałoby skrócić proces wyznaczania kosztów własnych odzyskiwanych elementów, ponieważ trudno jest na wstępie określić rzeczywiste koszty utrzymania stacji, a w szczególności koszty pośrednie. Metoda kosztów działań wymaga dużej liczby danych o prowadzonym procesie. Na etapie rozruchu budowy bazy danych określenie kosztów pośrednich, bez stosownego

Waldemar Woźniak*, Sławomir Kłos**

WYBÓR METODY KALKULACJI KOSZTÓW DO OCENY OPLACALNOŚCI DEMONTAŻU ELEMENTÓW SAMOCHODOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące inżynierii kosztów. Zaprezentowano metodykę wyboru i omówiono metody kalkulacji kosztów ze względu na określanie opłacalności demontowanych elementów samochodowych. Scharakteryzowano problemy wyznaczania kosztów własnych odzyskiwanych elementów.

1. Wprowadzenie

Podstawą skutecznego zarządzania procesami recyklingu, jest m.in. umiejętność pozyskiwania i analizy danych ze względu na ponoszone koszty. Podstawowym modelem do takiej analizy stają się typowe stacje demontażu samochodów, jako najmniejsze ogniwa w systemie recyklingu samochodów (proponowany model prezentowano w pracy [1]). Natomiast metody i techniki pozyskiwania informacji dla potrzeb zarządzania recyklingiem samochodów, związane są z pojęciem inżynierii kosztów. W oparciu o inżynierię kosztów, w ramach pojęcia rachunku kosztów przeprowadza się planowanie kosztów, ewidencję kosztów, rozliczanie kosztów, kalkulację kosztów, zarządzanie kosztami procesu demontażu samochodów itp.

Tak sformułowana metoda zbierania i analizy ponoszonych kosztów recyklingu sprowadza się do rozpoznawania, określania, wyznaczania dokładnych wartości kosztów rejestrowanych w trakcie procesów recyklingu pod kątem opłacalności odzysku elementów samochodowych.

* Instytut Inżynierii Produkcji i Materiałoznawstwa, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra.

** Instytut Inżynierii Produkcji i Materiałoznawstwa, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra.

Opłacalność demontażu elementów samochodowych stanowi zatem ekonomiczny aspekt planowania demontażu wraków samochodowych w stacjach demontażu samochodów (SDS). Rozpatrywana procedura planowania demontażu samochodów w ujęciu opłacalności zakłada następujące rozwiązanie (zarówno dla SDS jak również dla sieci SDS):

- Etap I – określenie opłacalności demontażu elementu samochodowego w stacji demontażu samochodów, określenie czasów przewidywanych na podstawie wcześniej zarejestrowanych czasów rzeczywistych i pośrednio w oparciu o uzyskany czas przewidywany, wyznaczenie przewidywanego kosztu demontażu i opłacalności demontażu.
- Etap II – opracowanie katalogów czasów normatywnych i związanych z nimi katalogów klas kosztowych dla danej stacji oraz dla sieci SDS w celu określania kosztów demontażu już w fazie klasyfikacji elementów do odzysku.

W pierwszym etapie, wartościami wiodącymi, stanowiącymi podstawę planowania są zlecenia demontażu samochodów będące wynikiem przyjęcia pojazdów do stacji demontażu. Zakłada się, że wstępne decyzje o sposobie demontażu (wybór elementów do demontażu) podejmowane są przez osobę pełniącą rolę eksperta (diagnosty). Decyzje przybierają kształt zlecenia wstępnego, który poddawany jest następnie wycenie i weryfikacji opłacalności. Ocena elementu do demontażu z punktu widzenia przydatności do dalszej odsprzedaży następuje w oparciu o zbiór cech konstrukcyjnych (rodzaj odzyskiwanego elementu, przynależność do grupy elementów itp.), zbiór cech eksploatacyjnych (przebieg, stopień uszkodzenia itp.) oraz zbiór cech jakościowych (rodzaj testu, żywotność danej klasy elementu itp.). Dla wstępnej oceny należy określić przewidywany koszt własny odzyskiwanego elementu na podstawie: kosztów demontażu, kosztów utylizacji uzyskanych odpadów, kosztów ogólnozakładowych SDS itp. Następnie należy sprawdzić czy na podstawie wcześniej zebranych informacji (zarejestrowanych w odpowiedniej bazie danych), istnieje zapotrzebowanie na demontowane elementy lub możliwość ich sprzedaży w terminie późniejszym. Oczywiście należy dodatkowo sprawdzić, czy koszt odzysku elementu nie przewyższa jego wartości rynkowej czyli innymi słowy czy jest możliwa jego sprzedaż z odpowiednim zyskiem.

Drugi etap sprowadza się do uporządkowania otrzymywanych danych z pierwszego etapu oraz znalezienia metod skutecznego i praktycznego klasyfikowania w celu uproszczenia systemu wyceny odzyskiwanych elementów. Niestety jest to trudny przypadek do rozpatrzenia, zważywszy na fakt, że każdy demontowany element należy rozpatrywać indywidualnie, ze względu na możliwość odzyskania, poziom zniszczenia lub uszkodzenia, testowanie i sprawdzanie przydatności do eksploatacji itp.

2. Metody kalkulacji kosztów

Analogia realizacji procesów recyklingu w stacjach demontażu samochodów do typowej produkcji na poziomie małoseryjnym bądź jednostkowym, skłania do wyboru metod kalkulacji kosztów – doliczeniowej wg miejsc powstawania kosztów lub kalkulacji kosztów działań. Stosując powyższe metody, dąży się do wyznaczenia kosztu własnego demontowanych elementów samochodowych, a w konsekwencji kosztu własnego wraków samochodowych. Odzyskiwane elementy i materiały z wraków samochodowych charakteryzują się zazwyczaj różnorodnością pod względem możliwości demontażu (wybór wariantu demontażu, „głębokość” demontażu itp.) oraz wyborem stanowisk demontażu (koszty stanowiskowe z punktu widzenia poniesionych inwestycji na wyposażenie stanowiska). Zatem proces wyznaczania kosztów własnych demontowanych elementów lub odzyskiwanych materiałów zależy w dużym stopniu od analizy kosztów pośrednich.

Przegląd ww. metod wraz z przykładowymi algorytmami obliczeń, mającymi zastosowanie w wyznaczaniu kosztu własnego demontażu elementów samochodowych prezentowano w artykule [1].

Jak można zauważyć, obliczanie kosztów pośrednich demontażu elementów z wraków samochodowych jest procesem trudnym i skomplikowanym. W literaturze przedmiotu, proponowanie kolejnych metod kalkulacji zmniejsza udział kosztów pośrednich w koszcie własnym wyrobu, określanych za pomocą narzutów (rysunek 1). Koszty pośrednie, rozliczane za pomocą narzutów, uzależnione są od uwarunkowań procesów demontażu (zastosowany system informatyczny, stopień złożoności wyrobów itp.). Sprowadzenie wartości narzutów do zera, pozostawiając tzw. Narzuty resztkowe oraz przejście z kalkulacji doliczeniowej wg miejsc powstawania kosztów na kalkulację kosztów działań nie zawsze musi okazać się opłacalne. Wzrost złożoności algorytmów obliczania kosztów jest związany ze zwiększonym nakładem pracy na ich uzyskanie i dlatego koszt pozyskania informacji o wartości kosztów pośrednich może przewyższać efekty wynikające z dokładności liczenia kosztów. W praktyce bez odpowiedniego systemu informatycznego (itp. klasy MRP II), określenie tego typu kosztów jest niemożliwe [2].

Analizując możliwość zastosowania w typowej stacji demontażu samochodów przytoczonych metod obliczania kosztów własnych demontowanych elementów należy rozważyć dwa przypadki:

- nowo powstała stacja demontażu samochodów,
- istniejąca stacja demontażu samochodów.

systemu informatycznego wspomagającego zbieranie danych jest nie możliwe. Poza tym czas poświęcony na zbieranie danych oraz separacja poszczególnych działań pod kątem analizy kosztów może doprowadzić do utraty rzeczywistego obrazu procesu demontażu a w konsekwencji do wzrostu kosztów stałych stacji. W przypadku kalkulacji doliczeniowej, koszty pośrednie rozliczane są stosownymi narzutami dla występujących odpowiednich rodzajów kosztów. Tak więc w momencie rozpoczęcia pracy SDS, należy upraszczać stosowane metody kalkulacji i tu typową jest kalkulacja doliczeniowa (narzutowa), która w trakcie rozwoju i potrzeb dotyczących dokładności obliczeń (wyznaczenia kosztu własnego demontowanego elementu) może migrować w kierunku stosowania kalkulacji kosztów działań.

W drugim przypadku zaleca się wprowadzenie kalkulacji kosztów działań, a w szczególności , gdy stacja

- prowadzi poza typową działalnością recyklingową, inną działalność gospodarczą, itp.. sprzedaż nowych elementów samochodowych, warsztat naprawy samochodów itp.,
- koszty własne stacji są zbyt wysokie i poszukiwane są możliwości ich redukcji,
- posiada odpowiednią, uzupełnioną bazę danych o wszelkich procesach związanych z demontażem elementów samochodowych.

W przypadku prowadzenie wielu działalności gospodarczych (jest to typowe rozwiązanie, widoczne na dzisiejszym rynku), w ramach jednej jednostki gospodarczej, zastosowanie kalkulacji kosztów działań, w celu rozdzielenia kosztów pośrednich jest jak najbardziej umotywowane. W przeciwnym przypadku, przy tak prostym procesie jakim jest demontaż samochodów oraz przy niskich marżach na sprzedawane elementy samochodowe, jak również przy niedochodowej sprzedaży materiałów do odzysku surowców, stosowanie kalkulacji kosztów działań jest zbyt kosztowne, a przez to nieekonomiczne.

3. Podsumowanie

Wybór metody kalkulacji kosztów w stacjach demontażu samochodów wiąże się z dokładną analizą czynników wpływających na poziom kosztów. Należy przede wszystkim zwrócić uwagę na właściwą organizację demontażu, na którą składa się: odpowiedni sposób organizacji procesu demontażu, organizacja stanowisk pracy, obsługa stanowisk pracy, właściwy system planowania demontażu itp. Specyfika funkcjonowania takich stacji wskazuje, że na wysokość kosztów mają znaczący wpływ stosowane normy pracy. Wprowadzenie odpowiednio napiętych

norm, zapewnia właściwą wydajność pracy oraz utrzymanie kosztów na odpowiednim poziomie.

Dlatego normując czas możemy wpływać na koszty pracy, które zależą itp. od: czasu trwania operacji, potrzebnych kwalifikacji, liczby zatrudnionych pracowników.

Właściwe kształtowanie tych czynników powoduje obniżenie kosztów pracy. Na czas trwania operacji i wielkości zespołu pracowników wpływa stopień zorganizowania i harmonizowania procesów pracy, a więc pośrednio i normy czasu. Stosując odpowiednie normy czasu można na ich podstawie wprowadzić taką organizację pracy, że jest możliwe skrócenie czasu trwania działań, a co za tym idzie zmniejszenie wielkości zespołu pracowników. Idąc dalej można podzielić pracę tak, aby każdy członek zespołu wykonywał czynności zgodnie ze swoimi kwalifikacjami. Skracanie czasu trwania z kolei wiąże się efektywnością eksploatacji maszyn i urządzeń itp.

Zatem dobór metod kalkulacji powinien być uzależniony od stosowanej organizacji pracy, która z kolei warunkuje możliwość pomiaru i rejestracji danych wpływających na badany składnik kosztów (metody analityczne, probabilistyczne pomiaru i wyznaczania kosztów). Natomiast obecnie do określania wartości ponoszonych kosztów podczas procesu demontażu elementów lub materiałów stosuje się zwykły rachunek kosztów, opierający się na danych pozyskanych z rachunkowości finansowej (ewidencyjnej).

Można to również zauważyć na przykładzie stacji demontażu samochodów w krajach Europy Zachodniej, które rozwiązują ten problem w następujący sposób. Koszt własny demontowanego elementu, bez względu na typ, markę i inne parametry konstrukcyjne, technologiczne czy jakościowe jest wartością stałą. Dlatego wyznaczenie ilości możliwych do demontażu i sprawnych elementów samochodowych pozwala określić koszt własny wraku samochodowego. W tym wypadku wprowadzenie pojęcia opłacalności demontażu staje się nieuzasadnione.

Zatem powstaje pytanie czy w naszych warunkach, można znaleźć efektywną metodę kalkulacji kosztów, która jest w stanie wyznaczyć rzeczywiste koszty demontażu, a przy tym określić opłacalność odzysku elementów lub materiałów przed rozpoczęciem procesu demontażu? Owszem, istnieją również metody, kalkulacji wstępnych, szacowania kosztów lub ustalania standardów kosztowych na podstawie norm technicznych (norm pracy), nazywane metodami kosztów normatywnych (jak opisano wyżej). Jednak w tym celu należy umiejętnie przetworzyć odpowiednie ilości danych zarejestrowanych na podstawie danych historycznych o zaistniałych **bytach**. Takie podejście wymaga jednak współpracy z systemem informatycznym – systemem ekspertowym, wspomagającym ocenę opłacalności

odzyskiwanych elementów i materiałów. Następuje to poprzez wstępną kalkulację kosztów własnych, na podstawie danych szacowanych pobranych bezpośrednio z procesu demontażu, w odniesieniu do danych rynkowych (itp. sprawdzania popytu na elementy, ceny rynkowe elementów itp.). Zasugerowany tutaj problem jest jednak podstawą dalszych badań.

Literatura

1. **Woźniak W., Sawwa R., Matuszek J.:** „Zarządzanie procesami recyklingu samochodów w aspekcie ekonomicznym”, Problemy recyklingu, I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Rogów 2001,
2. **Matuszek J.:** „Inżynieria kosztów produkcji.” Materiały konferencyjne, Inżynieria Produkcji'99, Bielsko-Biała 1999,
3. **Matuszek J.:** „Inżynieria produkcji”, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Filia w Bielsku-Białej, 2000,

CHOICE METHODS OF CALCULATION OF COSTS TO ESTIMATIONS OF PROFITABILITY OF DISASSEMBLY OF CAR ELEMENTS

Abstract: In article one introduced problems of relating engineering of costs. One presented methods of choice and one talk overed methods of calculation of costs from regard on qualifying profitability's disassembled of car elements. One characterized problems of marking of own costs recovered of elements.

Jerzy Wróbel*

KOMPUTERYZACJA MAŁYCH ŚREDNICH PRZEDSIĘBIORSTW – ZARZĄDZANIE DOKUMENTACJĄ TECHNICZNĄ

Streszczenie: W pracy przedstawiono problemy przetwarzania informacji w małych i średnich przedsiębiorstwach przemysłu maszynowego ze szczególnym uwzględnieniem przetwarzania informacji związanej z dokumentacją techniczną. Omówiono zakres komputerowego wspomaganie przetwarzania informacji. Zaproponowano wykorzystanie technologii baz danych do przechowywania, przetwarzania i udostępniania informacji zawartych w dokumentacji technicznej. Omówiono narzędzia komputerowe do budowy inżynierskich baz danych. Omówiono też wykorzystanie internetu do budowy inżynierskich baz danych. Przedstawiono przykład budowy inżynierskiej bazy danych i zarządzania dokumentacją w małym przedsiębiorstwie budowy maszyn.

1. Wstęp

Na początku lat osiemdziesiątych XX wieku, wraz z postępującym w skali światowej rozwojem technik telekomunikacyjnych, informatycznych i massmediów, epoka cywilizacji przemysłowej zaczęła ustępować miejsca *poprzemysłowej cywilizacji informacyjnej*, której podstawowym elementem jest *globalne społeczeństwo informacyjne*. Hasło to często utożsamiane jest z samym rozwojem teleinformatyki. Posiada ono o wiele szersze znaczenie, gdyż decydującym dla społeczeństwa informacyjnego jest fakt, że *informacja* staje się podstawowym zasobem produkcyjnym (obok surowców, kapitału, pracy), a wykorzystanie przy tym technik informatycznych jest tylko kwestią narzędziową.

Rozwój rynku teleinformatycznego stymulują dwa zjawiska: konwergencja sektorów i globalizacja. Pierwsze z nich polega na stopniowym wzajemnym przenikaniu się informatyki, telekomunikacji i mediów – dziedzin, które do niedawna były zupełnie autonomiczne. Przykładowo coraz więcej czasopism publikowanych

* Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska

jest w sieci komputerowej, a ich papierowe wersje rozprowadzane są razem z nośnikami CD-ROM.

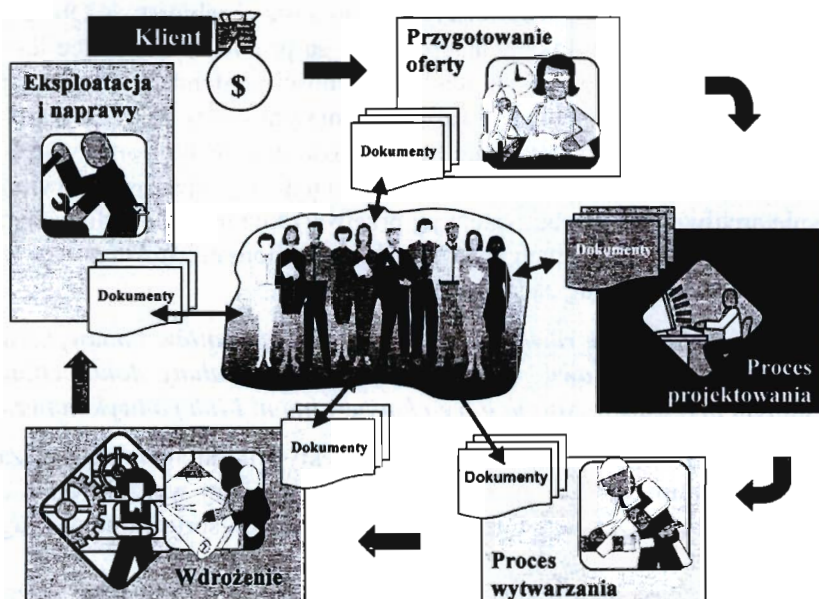
Globalizacja rynku, możliwa dzięki standaryzacji rozwiązań technicznych oraz możliwości reklamy i sprzedaży poprzez sieci komputerowe, pozwala nie tylko wielkim firmom o globalnym wymiarze, ale i małym i średnim przedsiębiorstwom dotrzeć do klientów na innych kontynentach. Z drugiej zaś strony złożone przedsięwzięcia, wymagające skomplikowanej infrastruktury, obejmującej np. satelity, mogą zakończyć się sukcesem tylko dzięki globalnym rozmiarom rynku, na który są ukierunkowane.

Podstawą rozwoju społeczeństwa informacyjnego jest gospodarka oparta na wiedzy, a zasadniczym zasobem gospodarczym, skumulowanym zarówno w komputerowych bazach danych jak i w społecznym potencjale intelektualnym staje się wiedza.

Proces formowania się cywilizacji informacyjnej postępuje nieuchronnie w skali globalnej i niedoceniać go jest krótkowzrocznością. Warunkiem rozwoju gospodarczego jest powszechny dostęp do informacji. Jest to szczególnie ważne dla małych i średnich przedsiębiorstw.

Sektor *małych i średnich przedsiębiorstw MSP* (ang. SME – Small and Medium Enterprises) ma istotne znaczenie dla rozwoju całej gospodarki i to nie tylko w Polsce. Sektor MSP w Polsce to ponad 3mln podmiotów gospodarczych zarejestrowanych w rejestrze REGON, 68% PKB wytworzonego w sektorze przedsiębiorstw oraz 7mln zatrudnionych osób. Większość tych firm należy do sektora prywatnego. Zgodnie z definicją przyjętą w ustawie „*prawo działalności gospodarczej*” z dnia 19.11.1999r w małym przedsiębiorstwie zatrudnienie jest mniejsze od 50 pracowników, przychód netto ze sprzedaży jest do 7mln euro, a suma aktywów z bilansu jest do 5mln euro. W przedsiębiorstwie średnim zatrudnienie jest od 50 do 249 pracowników, przychód netto ze sprzedaży jest do 40mln euro, a suma aktywów z bilansu jest do 27mln euro. Zgodnie z definicją przedsiębiorstwa te są niezależne. Definicja MSP jest rekomendowana przez Unię Europejską.

Sektor MSP należy do najbardziej dynamicznie rozwijających się sektorów a jego kondycja jest istotnym wyznacznikiem stanu całej gospodarki. Właściciele tych przedsiębiorstw rozumieją znaczenie jakie niesie komputeryzacja. Jest ona niezbędnym warunkiem utrzymania się firmy na rynku. Na rys. 1 przedstawiono w schematyczny sposób obieg informacji w przedsiębiorstwie produkcyjnym.



Rys. 1. Przetwarzanie informacji w przedsiębiorstwie produkcyjnym

Zarządzanie rosnącą ilością informacji we współczesnym przedsiębiorstwie staje się coraz większym problemem. Konkurencja wśród przedsiębiorstw wymusza zwiększanie elastyczności produkcji, skracanie cyklu projektowania i wdrożenia produktów. Współczesne przedsiębiorstwo na każdym etapie pracy nad wyrobem generuje bardzo dużą liczbę dokumentów związanych z wyrobem i jego kompleksową obsługą przed- i poprodukcyjną. Skracanie cyklu projektowania wyrobów wymusza skuteczniejszą wymianę informacji pomiędzy działami projektowania, produkcji, administracji, marketingu i innymi danego przedsiębiorstwa. Wszystko to powoduje nagłe zwiększenie ilości dokumentacji, zarówno dotyczącej produkcji samego wyrobu, jak i jego obsługi.

Ze względu na olbrzymią liczbę dokumentów ich przepływ pomiędzy komórkami organizacyjnymi jest czasochłonny. Dokumentacja produkcyjna musi być przechowywana przez określony czas, a dotychczasowym medium przechowującym informacje był i jest papier mający stosunkowo krótką trwałość. Dokumentacja taka musi być odpowiednio usystematyzowana i składowana. Często do obsługi tego typu zadań należy zatrudnić dodatkowy personel. W zakładach wytwarzających duży asortyment produktów, do archiwizowania dokumentacji przeznaczają się dodatkowe pomieszczenia, specjalnie zabezpieczone przed włamaniem, pożarem

i wilgocią – wszystko to zwiększa koszty działania przedsiębiorstwa. Obok aspektu dotyczącego czasu obiegu dokumentacji istotne są problemy dotyczące jej zawartości – problem aktualności danych, ich kompletności i redundancji dotyczy prawie każdego zakładu. Zmieniające się uwarunkowania prawne w zakresie bezpieczeństwa i zapewnienia jakości powodują konieczność dokumentowania wielu dodatkowych zdarzeń w przedsiębiorstwie. Dokumentacja projektowa powinna być efektywnie archiwizowana, zaś system jej przetwarzania musi umożliwiać sprawne procedury wyszukiwania danych związanych z określonym zagadnieniem (wyszukiwanie i sortowanie według zadanych kryteriów).

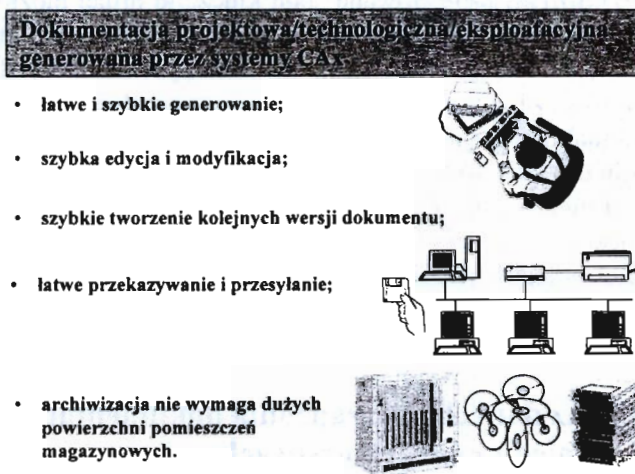
Dokumentacja rośnie również wraz z liczbą kooperantów i podwykonawców przedsiębiorstwa. Dodatkowo pojawia się problem wymiany dokumentacji pomiędzy danym przedsiębiorstwem a jego kooperantami i/lub podwykonawcami.

Dokumentacja projektowa powinna być efektywnie archiwizowana, zaś system jej przetwarzania musi umożliwiać sprawne procedury wyszukiwania danych związanych z określonym zagadnieniem (wyszukiwanie i sortowanie według zadanych kryteriów).

Celowe jest więc budowanie sprawnych i wydajnych systemów zarządzania dokumentacją projektową i zapis samych dokumentów w odpowiednio zorganizowanych inżynierskich bazach danych.

2. Zarządzanie dokumentacją w przedsiębiorstwach produkcyjnych

Rozwój technik komputerowych a szczególnie systemów CAx wpływa na zmianę sposobu projektowania. Systemy wspomagające proces projektowania pomagają skrócić czas wdrożenia projektu i dodatkowo generują dokumentację projektową. Ponadto ich zaletami są: szybka edycja dokumentów, przesyłanie ich na znaczne odległości, łatwa archiwizacja, oszczędność miejsca, możliwość tworzenia kilku wersji jednego dokumentu. Systemy CAx są powszechnie stosowane szczególnie w MSP. Praktycznie w każdym zakładzie produkcyjnym znajduje się oprogramowanie wspomagające prace projektowe. Wymiana dokumentacji przebiega szybko, zaś jej archiwizacja nie wymaga dużych powierzchni pomieszczeń magazynowych (rys. 2).



Rys. 2. Dokumentacja w systemach Cax

Przedsiębiorstwo nie potrafiące poradzić sobie ze sprawnym przetwarzaniem danych i informacji projektowych skazane jest na porażkę i w konsekwencji na wyeliminowanie z rynku.

Dostępne na rynku oprogramowanie wspomagające prace projektowe z racji swego komercyjnego charakteru nie jest tworzone pod kątem potrzeb konkretnego użytkownika. Jego zadaniem jest zaspokojenie wymagań jak największej liczby potencjalnych klientów.

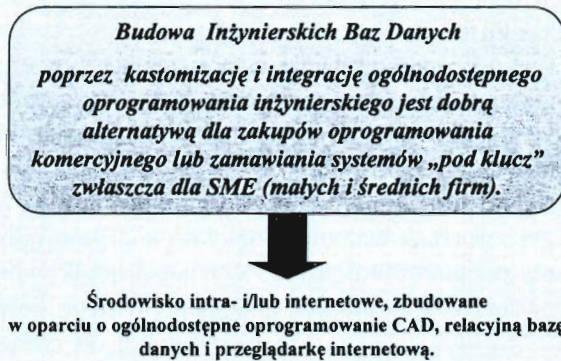
Na rynku dostępne jest komercyjne oprogramowanie do zarządzania dokumentacją PDM/EDM z rozbudowanymi możliwościami konfiguracji i z możliwością dostosowywania parametrów pracy do wymagań użytkowników, ale przez to drogie i skomplikowane. Często stopień złożoności takiego oprogramowania wymaga przeprowadzania długich i kosztownych szkoleń. W związku z tym w wielu przedsiębiorstwach produkcyjnych znajdują się często systemy PDM/EDM obejmujące swoim zasięgiem jedynie część wymaganego zakresu działań, w innych zaś firmach są olbrzymie systemy przerastające potrzeby ich właścicieli. Biorąc pod uwagę fakt, że systemy takie – pomimo deklaracji twórców – są niekompatybilne ze sobą, można wyobrazić sobie ilość problemów powstających w procesie wymiany informacji. Jest to istotne w warunkach powszechnej globalizacji (dużą firmę stać na kupno rozbudowanego systemu komputerowego, ale mała firma musi zrezygnować ze współpracy z innymi nie mogąc spełnić podstawowych warunków dotyczących wymiany informacji).

Systemy PDM/EDM projektowane „pod klucz” to druga możliwość wyposażenia przedsiębiorstwa w oprogramowanie do zarządzania dokumentacją techniczną. Proces projektowania i wdrożenia systemu „pod klucz” jest bardzo kosztowny, a jakakolwiek zmiana w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa pociąga za sobą konieczność uaktualnienia oprogramowania – co najczęściej jest dodatkowo płatne. Do tego dochodzą okresowe szkolenia dla użytkowników.

W konkluzji można więc stwierdzić, że większość dostępnego na rynku oprogramowania służącego do zarządzania dokumentacją projektową przeznaczona jest dla dużych przedsiębiorstw. Pomimo relatywnie wysokich możliwości w stosunku do kosztów, są one zbyt drogie dla MSP.

3. Koncepcja baz danych i zarządzania dokumentacją w małych i średnich przedsiębiorstwach

Dobłą alternatywa dla małych i średnich firm jest kastomizacja i integracja ogólnodostępnego oprogramowania inżynierskiego (rys. 3).



Rys. 3. Idea inżynierskiej bazy danych dla MSP

Obecnie prawie każde rozbudowane oprogramowanie CAx ma możliwość dostosowywania parametrów swojej pracy do potrzeb użytkowników. Dostęp do tych funkcji możliwy jest najczęściej poprzez wewnętrzne mechanizmy aplikacji, bądź też z poziomu popularnych języków programowania. Ponadto możliwa jest integracja kilku aplikacji różnego typu w jeden system obejmujący swoim zasięgiem wymagany obszar działania. Dostosowanie aplikacji do konkretnych potrzeb jest najtańszym i być może najszybszym sposobem zapewnienia optymalnej pracy zakupionego oprogramowania.

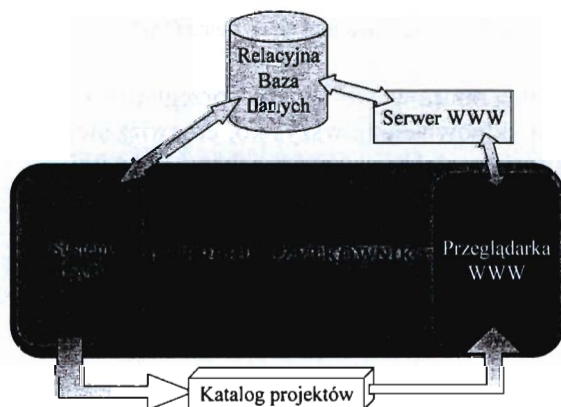
Na rys. 4 przedstawiono podstawowe wymagania stawiane inżynierskim bazom danych dla małych i średnich przedsiębiorstw produkcyjnych.

Podstawowe cechy systemu

- wszystkie dane dotyczące dokumentacji i użytkowników znajdują się w relacyjnej bazie danych;
- dokumenty znajdują się w udostępnionym w sieci katalogu i tylko w nim;
- użytkownicy systemu korzystają z dotychczas posiadanych, popularnych programów – nie jest więc konieczny zakup następnych, drogiej systemów;
- w każdej chwili uprawnieni użytkownicy mogą obejrzeć aktualny stan realizowanego projektu;
- identyfikacja użytkowników następuje poprzez konieczność podania numeru logowego i hasła;
- istnieje możliwość prześledzenia historii tworzonego projektu;
- możliwa jest dalsza rozbudowa systemu o kolejne funkcje przy niskich kosztach.

Rys. 4. Wymagania stawiane inżynierskiej bazie danych dla MSP

Koncepcja systemu przedstawiona na rys. 5 przewiduje dwa poziomy interfejsu użytkownika: poziom edytora graficznego CAD i poziom przeglądarki internetowej. Projektanci korzystają ze swoich systemów CAD do generowania dokumentacji oraz dodatkowo wykorzystują przeglądarkę WWW w celu obejrzenia stanu zaawansowania projektu. Komunikację zapewnia dowolny program pocztowy. Serwer WWW umożliwia komunikację przeglądarki z bazą danych. Relacyjna baza danych jest integralną częścią systemu. Z nią komunikuje się bezpośrednio system CAD. Przeglądarka internetowa komunikuje się z relacyjną bazą danych za pośrednictwem serwera WWW.



Rys. 5. Koncepcja systemu

Podstawowe funkcje relacyjnej bazy danych przedstawione są na rys 6.



Składowanie informacji dotyczących:

- realizowanych projektów;
- tworzonych dokumentów;
- projektantów zatrudnionych przy projektach;
- położenia stosownych plików i danych.

Rys. 6. Podstawowe funkcje relacyjnej bazy danych

Rys. 7 przedstawia podstawowe funkcje systemu CAD. Generalnie system CAD odpowiada za wszystko, co związane jest z fizycznym generowaniem i modyfikacją dokumentacji projektowej (szczególnie rysunkowej).



- środowisko pracy projektanta;
- generowanie dokumentacji projektowej;
- tworzenie kolejnych wersji dokumentów;
- weryfikacja dostępu do dokumentacji rysunkowej adekwatnie do uprawnień posiadanych przez użytkownika i przydzielonych mu prac;
- kontrola lokalizacji plików danego projektu.

Rys. 7. Podstawowe funkcje systemu CAD

Rys. 8 ilustruje podstawowe funkcje przeglądarki internetowej. Generalnie przeglądarka www odpowiada za wszystko, co związane jest z zarządzaniem projektem, dokumentacją projektową oraz zasobami ludzkimi.

- środowisko pracy projektanta;
- „zakładanie” nowych projektów;
- wybór osoby prowadzącej projekt;
- dobór zespołu realizującego dany projekt;
- budowanie struktury wyrobu;
- przydzielanie zadań poszczególnym projektantom;
- przeglądanie dokumentów danego projektu;
- zatwierdzanie dokumentów;
- kontrola stanu zaawansowania projektu;
- komunikacja z/pomiędzy projektantami;



Rys. 8. Podstawowe funkcje przeglądarki internetowej

Rys. 9 opisuje podstawowe funkcje serwera WWW. Z tej samej bazy korzysta serwer WWW, który przekazuje informacje do wyświetlenia w przeglądarce internetowej. Za pomocą tego mechanizmu możliwe jest przeglądanie dokumentów danego projektu, ich zatwierdzanie, komunikacja z projektantami, oraz przydzielanie do realizacji nowych projektów i poszczególnych dokumentów. Wszystkie pliki dokumentów składowane są na dysku twardym komputera (serwera w sieci) w określonej strukturze katalogów.

- komunikacja przeglądarki z bazą danych (pobieranie informacji z relacyjnej bazy danych i wyświetlanie ich w przeglądarce internetowej, oraz modyfikacja danych w bazie na podstawie informacji wprowadzanych w przeglądarce internetowej)



- archiwizacja elektronicznej dokumentacji projektowej

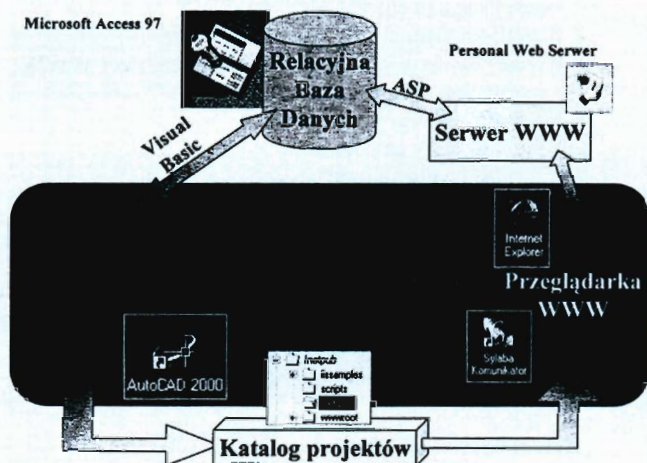


Rys. 9. Podstawowe funkcje serwera WWW.

4. Przykład zarządzania dokumentacją

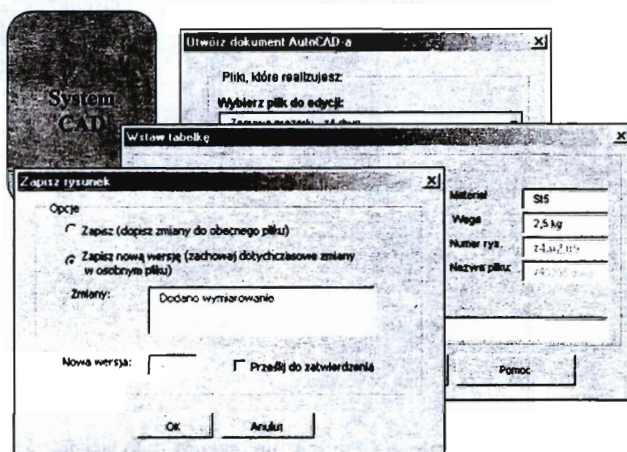
Zaproponowana w poprzednim punkcie koncepcja została zrealizowana w biurze projektowym przedsiębiorstwa Nida Gips [11]. W aplikacji poprzez jednoznaczny identyfikację użytkowników zapewniono bezpieczeństwo dokumentacji. Udostępniono projektantom możliwość zapisu kolejnych wersji rysunku i łatwe poruszanie się między tymi wersjami - pozwala to śledzić proces tworzenia danego dokumentu, a w szerszym ujęciu – całego projektu. Generowane przy każdym zapisie rysunku pliki umożliwiają projektantowi nadzorującemu realizację wybranego projektu i natychmiastowe zorientowanie się w stanie jego zaawansowania. Problem akceptacji wykonanych dokumentów rozwiązano poprzez zatwierdzanie elektroniczne. Zaproponowana aplikacja została osadzona w środowisku internetowym.

Narzędziami wykorzystanymi w zaproponowanym systemie jest ogólnodostępne oprogramowanie inżynierskie i biurowe oraz internetowe (rys. 10). Serwer WWW to oprogramowanie firmy Microsoft o nazwie Personal Web Server (oprogramowanie to pozwala uruchomić na danym komputerze usługę serwera stron WWW). Komunikacją pomiędzy bazą danych a serwerem WWW została wykonana przy pomocy technologii ASP (Active Server Pages). Komunikacja pomiędzy bazą danych (MS ACCESS) a systemem CAD (AutoCAD) została wykonana przy pomocy obiektowo zorientowanego języka programowania Visual Basic.

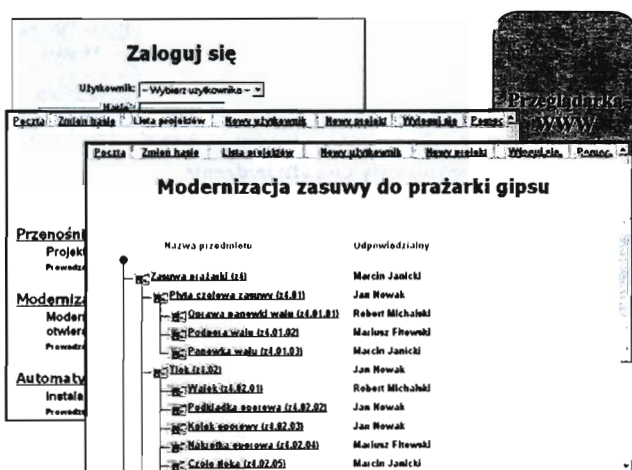


Rys. 10. Narzędzia wykorzystane w systemie

Na rys. 11-14 pokazano kopie ekranów ilustrujące działanie aplikacji.



Rys. 11. Przykładowy interfejs systemu CAD.



Rys. 12. Przykładowy interfejs projektanta wiodącego projekt z poziomu przeglądarki internetowej



Rys. 13. Przykładowy interfejs projektanta wiodącego projekt z poziomu przeglądarki internetowej



Rys. 14. Przykładowy interfejs projektanta wiodącego projekt z poziomu przeglądarki internetowej.

Innym przykładem budowy inżynierskiej bazy danych i systemu zarządzania dokumentami może być komputeryzacja biura projektowego w Przemysłowym Instytucie Maszyn Budowlanych w Kobyłce. Wraz z wprowadzaniem *Systemu Zapewniania Jakości* podjęto zadanie opracowania skomputeryzowanego systemu zarządzania dokumentacją projektową [8]. Do budowy systemu włączono doku-

mentację tworzoną w procesie projektowania maszyn dla potrzeb ratownictwa technicznego. W pracach projektowych wykorzystywane są komputerowe bazy danych zawierające różne informacje niezbędne w procesie projektowania a szczególnie zbiory wymagań dotyczących projektowania maszyn. Bazy te wykorzystywane są przede wszystkim we wstępnych fazach procesu projektowania a więc w etapie wartościowania (założenia, projekt wstępny) w celu określenia zarówno parametrów techniczno-ekonomicznych nowego wyrobu, prawidłowości przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych jak i spełnienia innych wymagań zawartych w różnego typu aktach prawnych i przepisach. W bazach danych umieszczono wymagania związane głównie z bezpieczeństwem eksploatacji i ochroną środowiska oraz wymaganiami niezbędnymi dla spełnienia warunków certyfikacji na znak bezpieczeństwa. Bazy zawierają też zbiory wymagań określonych w aktach prawnych.

W pracach [6,9,12] są opisane kolejne przykłady inżynierskich baz danych i systemów zarządzania dokumentacją projektową.

5. Wnioski

W pracy przedstawiono cele i kierunki rozwoju społeczeństwa informacyjnego. Na tym tle sformułowano problemy przetwarzania informacji w przedsiębiorstwie ze szczególnym uwzględnieniem procesu projektowania. Omówiono jakościowe zmiany związane z komputerowym wspomaganie prac inżynierskich. Sformułowano też możliwości komputerowo wspomaganego zarządzania dokumentacją projektową.

Zaproponowano koncepcję inżynierskiej bazy danych i zarządzania dokumentacją w małych i średnich przedsiębiorstwach. Baza danych integruje wszystkie systemy wspomagających prace inżynierskie.

Opisano też przykładowe wykorzystanie. Zaproponowana koncepcja została zrealizowana w biurze projektowym przedsiębiorstwa Nida Gips.

Zastosowanie kastomizacji posiadanych systemów do osiągnięcia specyficznych rozwiązań informatycznych wydaje się być trafnym rozwiązaniem. Użytkownik otrzymuje w efekcie takich zmian system idealnie dostosowany do jego potrzeb (pod klucz), nie ponosząc praktycznie dodatkowych kosztów.

Literatura

1. Cele i kierunki rozwoju społeczeństwa informacyjnego w Polsce, KBN, Warszawa, 2000.
2. **Jusis J., Marowski W., Wróbel J.:** Wybrane aspekty systemu komputerowo wspomaganego procesu projektowania – CADP; Przegląd Mechaniczny, nr 7, 1997, str. 7-10.
3. **Marowski W., Wróbel J.:** Komputerowe wspomaganie procesu projektowania w dużych biurach projektowych, Inżynieria Maszyn, R. 2, Z. 4, 1997, str. 67-84.
4. **Marowski W., Wróbel J.:** Procesowe podejście do komputerowo wspomaganego projektowania maszyn, Przegląd Mechaniczny, 1998, no. 17-18, str. 13-24.
5. PIONIER: Polski Internet optyczny – Zaawansowane aplikacje, usługi i technologie dla społeczeństwa informacyjnego, KBN, Warszawa, 2000.
6. **Wróbel J., Marowski W., Sz waj J.:** System zarządzania dokumentacją techniczną w małym przedsiębiorstwie produkcyjnym, Przegląd Mechaniczny, no 1, 2001, pp. 11-14.
7. **Wrobel J.:** Engineering Data Bases in the Design Process, Journal of Inner Mongolia Polytechnic University, vol. 22, no 2, 2001, pp. 105-109.
8. **Wrobel J., Machniewski A.:** Data Bases in the Design of Machines for Technical Rescue Work, Journal of Inner Mongolia Polytechnic University, vol. 22, no 2, 2001, pp. 110-115.
9. **Wróbel J., Linkiewicz G., Wrona K.:** Zintegrowane środowisko wspomagające proces projektowania podnośnika śrubowego, Mechanik, nr 10, 2001, pp. 682-685.
10. **Wróbel J.:** Inżynierskie bazy danych dla małych przedsiębiorstw, Zeszyty Naukowe nr 272, Mechanika z. 70, Politechnika Opolska, 2001, pp. 367-376 (XX Sympozjon PKM, Polanica-Zdrój 24-28.09.2001).
11. **Wróbel J., Fitowski M., Linkiewicz G.:** Wykorzystanie Internetu do zarządzania dokumentacją projektową, Przegląd Mechaniczny, no 2, 2002 pp. 35-39.
12. **Wróbel J., Szłom M., Jaworski R.:** Komputeryzacja obiegu dokumentów, Przegląd Mechaniczny, no 2, 2002 pp. 5-6.

Kazimierz Zawiślak*

ANALIZA RÓŻNYCH METOD OBRÓBK TERMICZNEJ ZIARNA JĘCZMIENIA NA JAKOŚĆ I ENERGOCHŁONNOŚĆ PROCESU ROZDRABNIANIA

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu obróbki termicznej ziarna jęczmienia o wilgotności początkowej 30% mikrofalami i w kombiwarze na proces rozdrabniania. Otrzymane wyniki świadczą o mniejszej kruchości surowca (zmniejszona zawartość cząstek pylistych poniżej 0,5 mm). Obróbka ta powoduje jednak wzrost energochłonności procesu rozdrabniania.

1. Wprowadzenie

Przygotowanie surowców zbożowych do procesów technologicznych związanych z mieszaniem, kondycjonowaniem, ekspandowaniem, granulowaniem bądź też ekstruzją wiąże się z odpowiednim ich rozdrobnieniem [1, 4].

Z wielu prac prowadzonych wcześniej wynika, że proces rozdrobnienia ma charakter złożony i zależy od bardzo wielu czynników [2, 3, 5].

Dla różnych procesów technologicznych pożądanym jest odpowiednio wyrównany skład granulometryczny rozdrobnionego surowca, ponieważ duże ilości cząstek pylistych zwłaszcza w mieszankach paszowych sypkich, powodują pogorszenie warunków zoohigienicznych na fermach.

* Katedra Maszynoznawstwa i Inżynierii Przemysłu Spożywczego, Akademia Rolnicza w Lublinie, ul. Doświadczalna 44.

2. Metodyka badań

Przeprowadzone badania miały dać odpowiedź na postawione założenie, czy obróbka ziarna o wysokiej wilgotności wysokimi temperaturami będzie miała wpływ na procesy rozdrabniania. Do badań użyto ziarna jęczmienia paszowego o wilgotności 11 %. Ziarno to nawilżono, poprzez dodanie obliczonej z bilansu odpowiedniej ilości wody, do wilgotności 30 %. Następnie ziarno poddano leżakowaniu przez okres 48 godzin w temperaturze $+ 5^{\circ}\text{C}$, w naczyniu szczelnie zamkniętym, okresowo mieszając w celu wyrównania wilgotności. Nawilżone ziarno jęczmienia poddawano obróbce termicznej w kuchence mikrofalowej i w kombiwarze. Masa próbki poddawanej obróbce wynosiła w obu urządzeniach po 250 g.

Kuchenka mikrofalowa pracowała przy następujących parametrach: moc – 1000W, częstotliwości - 2450 MHz, czas przebywania próby 5 min.

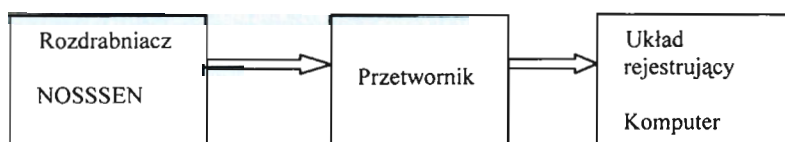
Kombiwar o mocy 1200 W, temperatura pracy 250°C , czas przebywania próby 8 min.

Stosując czas obróbki 5 i 8 min. otrzymano ziarno o wilgotności ok. 11 % co odpowiadało próbie kontrolnej.

Następnie ziarno jęczmienia w próbkach o masie 1 kg poddawane było rozdrabnianiu na rozdrabniaczu laboratoryjnym palcowym typu NOSSEN przy zastosowaniu sit o otworach 3 i 5 mm.

Energochłonność procesu rozdrabniania mierzona była przy pomocy przetwornika i wyniki rejestrowano w komputerze (rys. 1).

Pomiary energochłonności procesu rozdrabniania i stopnia rozdrobnienia wykonano w trzech powtórzeniach, a do analizy wyników przyjęto wartości średnie.



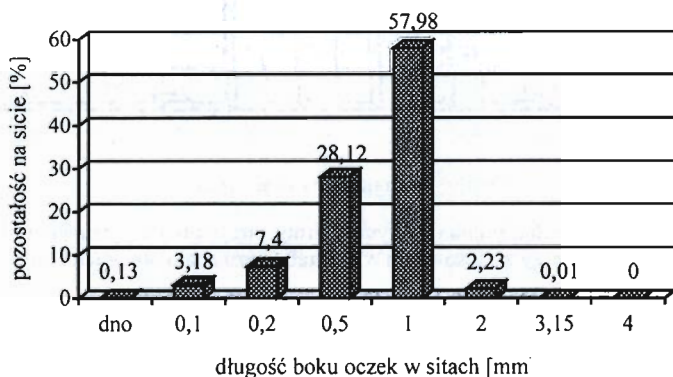
Rys.1. Układ pomiaru energochłonności w prowadzonych badaniach

Pomiar stopnia rozdrobnienia wykonano zgodnie z PN-89/R-64798 stosując sita o wymiarach boku oczka 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 2,0 ; 3,15 ; 4,0 mm.

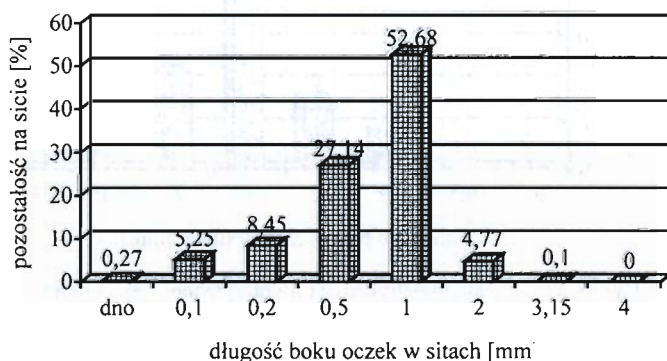
3. Omówienie wyników badań

Procentową pozostałość rozdrobnionego surowca na poszczególnych sitach zestawu analizującego skład granulometryczny przedstawiono na rys. 2÷8.

Rys. 2÷4 przedstawiają pozostałość na sitach poszczególnych wielkości cząstek śruty jęczmiennej uzyskanej z rozdrabniania przy zastosowaniu sita w rozdrabniaczu o oczkach 3 mm. Analizując te wyniki należy zauważyć, że ilość cząstek poniżej 0,5 mm w śrucie która została otrzymana z ziarna jęczmienia poddanego obróbce mikrofalami wynosi 10,71%, dla kombiwaru wartość ta wynosi 13,97%. Natomiast w śrucie z ziarna kontrolnego przesiew przez sito 0,5 mm wynosi 23,42% czyli jest dwukrotnie większy.

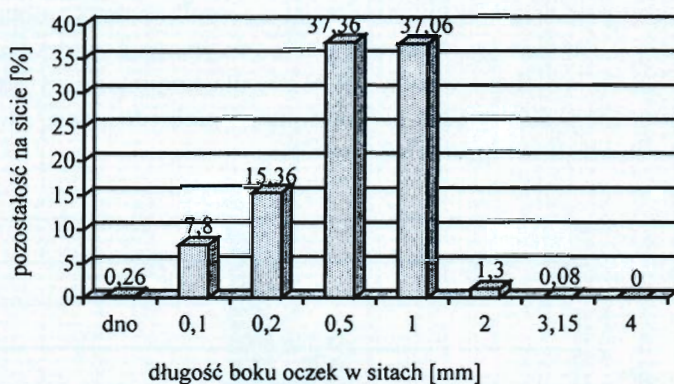


Rys. 2. Skład granulometryczny śruty otrzymanej z jęczmienia poddanego obróbce mikrofalami przy zastosowaniu w rozdrabniaczu sita o otworach 3 mm

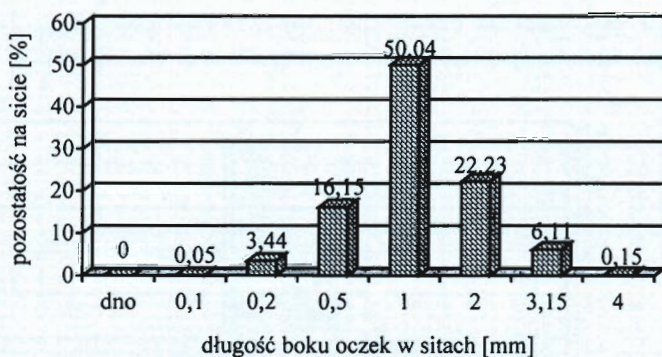


Rys. 3. Skład granulometryczny śruty otrzymanej z jęczmienia poddanego obróbce w kombiwarze przy zastosowaniu w rozdrabniaczu sita o otworach 3 mm

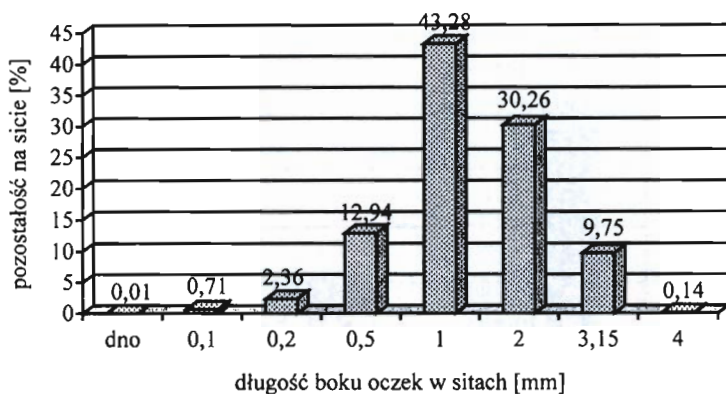
Wyniki rozdrabniania dla sita o otworach 5 mm w rozdrabniaczu przedstawiono na rys. 5 + 7. Dla śruty z ziarna poddanego obróbce mikrofalami przesiew przez sito o boku 0,5 mm wynosił 3,49% dla kombiwaru 3,08%, a dla próby kontrolnej 6,56%. Daje to zbliżony stosunek jak i przy rozdrabnianiu na sicie 3 mm (rys. 8).



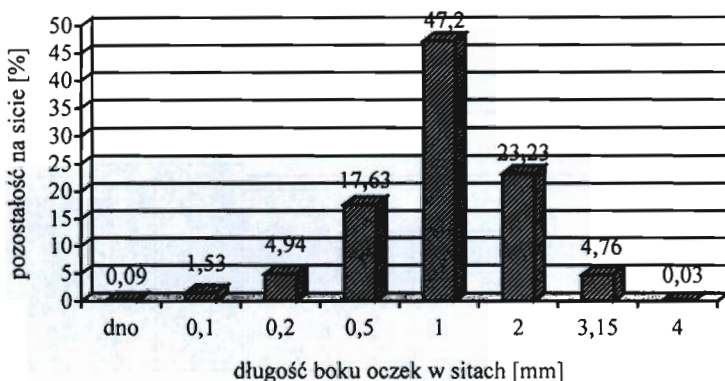
Rys. 4. Skład granulometryczny śruty otrzymanej z jęczmienia kontrolnego przy zastosowaniu w rozdrabniaczu sita o otworach 3 mm



Rys. 5. Skład granulometryczny śruty otrzymanej z jęczmienia poddanego obróbce mikrofalami przy zastosowaniu w rozdrabniaczu sita o otworach 5 mm



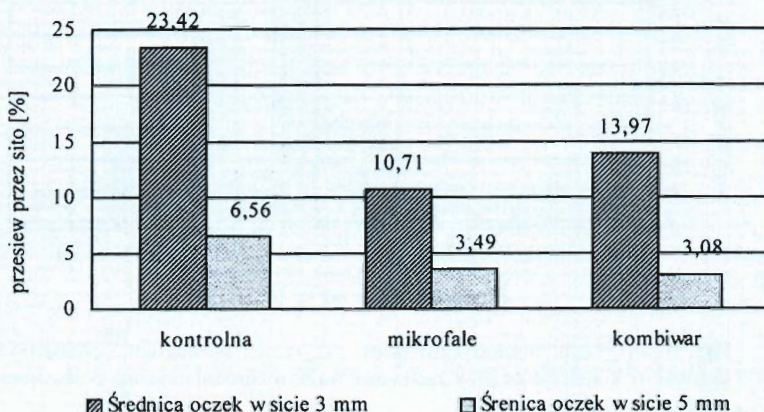
Rys. 6. Skład granulometryczny śruty otrzymanej z jęczmienia poddanego obróbce w kombiwarze przy zastosowaniu w rozdrabniaczu sita o otworach 5 mm



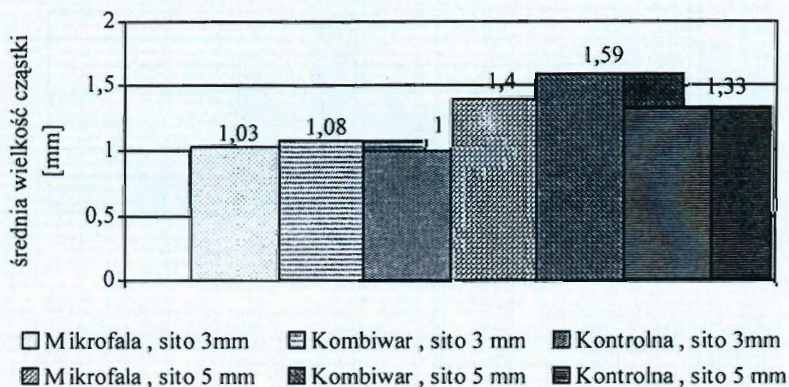
Rys. 7. Skład granulometryczny śruty otrzymanej z jęczmienia kontrolnego przy zastosowaniu w rozdrabniaczu sita o otworach 5 mm

Na rys. 9 przedstawiono średnie geometryczne wielkości cząstek, otrzymane z rozdrobnionych surowców. Dla sita 3 mm w rozdrabniaczu są większe od $3 + 8$ % po obróbce termicznej, natomiast dla sita 5 mm średnia wielkość cząstki jest większa o $6 + 19,5$ % od średniej wielkości cząstki produktu kontrolnego. Przedstawione wyniki stopnia rozdrobnienia ziarna jęczmienia, które przy wilgotności 30 % było poddane obróbce termicznej odbiegającej od parametrów tradycyjnego

suszenia wskazują na możliwość uzyskania śruty o mniejszej zawartości cząstek pylistych. Na rys. 10 przedstawiono wyniki zużycia energii.



Rys. 8. Przesiew przez sito o boku 0,5 mm

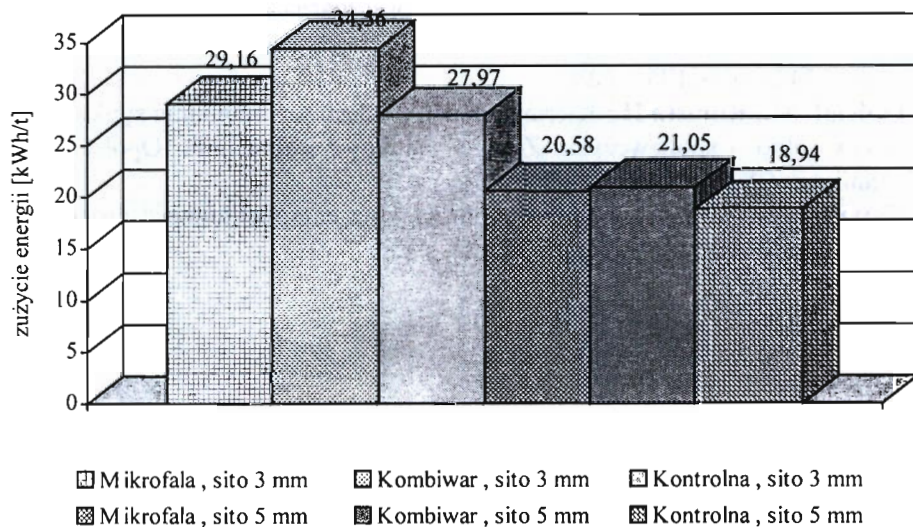


Rys. 9. Średnia geometryczna wielkość cząstki po rozdrobnieniu na rozdrabniaczu sitowym

Z danych tych wynika, że przy zastosowaniu w rozdrabniaczu sita o oczkach 3 mm następuje wzrost o 4,2% zużycia energii dla surowca poddanego obróbce mikrofalami w porównaniu do próby kontrolnej, a w przypadku kombiwaru wzrost

ten wynosi 23,5%. Dla sita 5 mm wzrost dla ziarna obrabianego mikrofalami wynosi 8,6 % a dla obrabianego w kombiwarze o 11,1%.

Zwiększenie otworów w sieci rozdrabniacza z 3 mm do 5 mm powoduje spadek zużycia energii o około 50 % dla wszystkich wariantów rozdrabnianego jęczmienia przy wzroście średniej geometrycznej wielkości cząstki o $33 \pm 47\%$.



Rys. 10. Zużycie energii na rozdrabnianie ziarna

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Obróbka termiczna mokrego ziarna jęczmienia przy zastosowaniu mikrofal i kombiwaru powoduje zmniejszenie o około 50% zawartości części pylistych w otrzymanej śrucie w porównaniu do śruty uzyskanej z jęczmienia kontrolnego.
2. Obróbka termiczna przy pomocy mikrofal i kombiwaru powoduje wzrost zużycia energii na rozdrobnienie o $4 \div 23\%$ w porównaniu do partii kontrolnej.

Literatura

- 1) **Grochowicz J.:** Zaawansowane techniki wytwarzania przemysłowych mieszanek paszowych. PAGROS. Lublin 1998.
- 2) **Obidziński S., Heift R.:** Wpływ prędkości układu rdzennego rozdrabniacza na energochłonność procesu rozdrabniania. Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, Mechanika z. 60, 254/2000 s.185 – 193.
- 3) **Obidziński S., Heift R.:** Wpływ wilgotności ziarna na energochłonność procesu rozdrabniania. Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, Mechanika z. 60, 254/2000, s.195 – 201.
- 4) **Opielak M., Komsta H.:** Kierunki badań procesu rozdrabniania sypkich materiałów rolno – spożywczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, Mechanika z. 60, 254/2000, s. 209 – 217.
- 5) **Zawiślak K.:** Wpływ wilgotności surowca na energochłonność procesu rozdrabniania. Inżynieria Rolnicza 2/2001, s. 389 – 391.