

STRUCTURE AND ENVIRONMENT

ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND ENERGY

No. 2/2012 vol. 4 PL ISSN 2081-1500 www.sae.tu.kielce.pl KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Contents

structure

JUSTYNA MRUGAŁA

IMPACT OF SYNTHETIC WAX ON FOAMING CHARACTERISTICS OF ASPHALT 35/50	5
--	----------

environment

AGNIESZKA SEWERYN

THE IDENTIFICATION OF THE SORPTION PROPERTIES OF ASH FROM ARBOREAL BIOMASS USED TO REMOVE BIOGENIC COMPOUNDS AND HEAVY METAL IONS FROM POLLUTED WATER	13
--	-----------

MARCIN PAWLAK

MODELING OF BOOST DC/DC PULSE CONVERTER WITH REGARD OF CONDUCTION POWER LOSSES FOR CONTINUOUS CURRENT MODE	27
---	-----------

MARIOLA STARZOMSKA

A SET OF WHEEL WATER TURBINE WITH THE CURRENT STEERING – A MATHEMATICAL TORQUE MODEL	36
---	-----------

DOROTA KORUBA, JERZY ZBIGNIEW PIOTROWSKI

ASSESSMENT OF THE FUNGI CONTAMINATION DEGREE IN SELECTED PUBLIC BUILDINGS IN THE CITY OF KIELCE	41
--	-----------

SŁAWOMIR SPADŁO, PIOTR MŁYNARCZYK

INVESTIGATION OF THE SURFACE QUALITY ALLOYING WITH THE ELECTRODES OF CHROMIUM-NICKEL STEEL	52
---	-----------

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT	61
--	-----------

THE REVIEW PROCESS	62
---------------------------------	-----------

EDITORIAL BOARD

Main Editor Jerzy Z. Piotrowski

Editor Radosław Zaborek

Secretary of the Editorial Board Łukasz Orman

Sectional Editor STRUCTURE Marek Iwański

Sectional Editor ENVIRONMENT Lidia Dąbek

SCIENTIFIC BOARD

STRUCTURE

Chairmanship Jerzy Wawrzeńczyk

Tomasz Arciszewski (USA), Lesław Brunarski, Go Iwahana (Japan), Zbigniew Kowal, Jozef Melcer (Slovakia), Michail V. Nemchinov (Russia), Victor Proskuriakow, Zbigniew Rusin, Bohdan Rymaszewski, Wacław Seruga, Małgorzata Wilczkiewicz (USA)

ENVIRONMENT

Chairmanship Tomasz Kozłowski

Satoshi Akagawa (Japan), Elżbieta Bezak-Mazur, Dorota Chwieduk, Graham Herbertson (Scotland), Andrzej Kapłon, Andrzej Kuliczkowski, Janusz Łomotowski, Paweł Purgał, Leszek Radziszewski, Anatol Stroy (Ukraine), Maria Żygadło

www.sae.tu.kielce.pl

sae@tu.kielce.pl

The quarterly printed issues of Structure and Environment are their original versions

The Journal published by the Kielce University of Technology

PL ISSN 2081-1500

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2012

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7

tel. 41 34 24 581

www.tu.kielce.pl/organizacja/wydawnictwo



Kielce University of Technology
2012



structure
structure

JUSTYNA MRUGAŁA

Kielce University of Technology

Faculty of Civil and Environmental Engineering

e-mail: mrugala@tu.kielce.pl

IMPACT OF SYNTHETIC WAX ON FOAMING CHARACTERISTICS OF ASPHALT 35/50

Abstract

The article discusses the bituminous mixtures for low temperature production and incorporation. The results of investigation of asphalt 35/50 modified with FT synthetic wax in the amount of 1.0% to 2.5% in increments of 0.5% are given. It also presents the characteristics of foamed asphalt with different contents of synthetic FT wax in order to select the optimal modifier content.

Keywords: road, foamed bitumen, mix asphalt

1. Introduction

Public awareness regarding health, environment and safety at work has increased significantly in recent years. Therefore, it is advisable to reduce the amount of pollution and energy consumption during production and incorporation of asphalt mixes. The roads are commonly used in bituminous mixtures produced with hot technology HMA (Hot Mix Asphalt), which is very energy intensive due to the fact that it is necessary to heat the mixture of ingredients: aggregate and asphalt to the required temperature to provide adequate viscosity of asphalt and the appropriate level of aggregate grains surroundings. During the production a large amount of greenhouse gases which adversely affects the environment is released. So for several years technologies have been developed that lower the temperature of the production of asphalt mixes with such technology as WMA (Warm Mix Asphalt), the HWMA technology (Warm Mix Asphalt Half) and CMA technology (Cold Mix Asphalt). Schematic temperature range of production for different types of asphalt mixes are presented in Figure 1. There are two ways of lowering the temperature of production and incorporation of mineral mix asphalt:

- through measures that reduce the viscosity of bitumen, which lowers the temperatures of the production of mineral mix asphalt, i.e. Sasobit, Asphaltab B, RT Cecabase etc.;
- the modification process, i.e. LT-Asphalt Nynas, Shell WAM-Foam, LEA-Low Energy Asphalt etc.

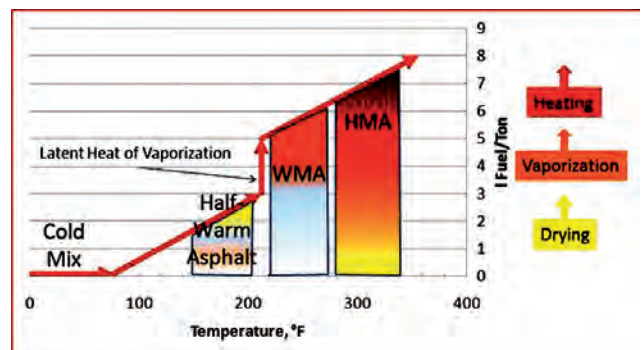


Fig. 1. Temperature production of asphalt mixes [3]

The fundamental differences in technology HMA and technologies (WMA) can be counted:

- temperature reduction in producing mineral mix asphalt for technology HMA;
- reduction in the level of aging the asphalt to the temperature limit in the manufacturing process;
- slowdown in cooling the mixture at low temperatures due to the small difference in temperature in the system mixture-air;
- prolongation of the effective laying and, thus, improvement in the quality of pavement performance;
- reduction of cooling time to a level at which you can enter traffic;
- improvement of the safety of workers;
- reduction of harmful emissions;
- reduction of the energy needed to bring the asphalt binder to the desired viscosity level;
- reducing a nuisance of an asphalt plant near inhabited areas.

2. Characteristics of foamed bitumen

In 1957 prof. L. Csanyi developed the technology with foamed bitumen. In 1968 Mobil Oil Corporation has patented his own method of asphalt foaming, 1991 after the expiry of patents Mobil, there was an evaluation of technology mixed with foamed bitumen.

The physical properties of the asphalt foam is evaluated based on two parameters [4, 9]:

- the expansion ratio (WE), which is the ratio of the maximum volume of the foamed bitumen to the volume of the initial asphalt, defining a multiple increase in the asphalt during its foaming;
- half-life ($t_{1/2}$) is the time measured in seconds for foamed bitumen the time for half of the maximum volume, i.e. the difference between the time at which the bitumen is characterized by a maximum time of foaming, which is kept at half maximum even after the expansion of its volume.

Between these parameters, there is a correlation coefficient of expansion inversely proportional to the half-life (Fig. 2).

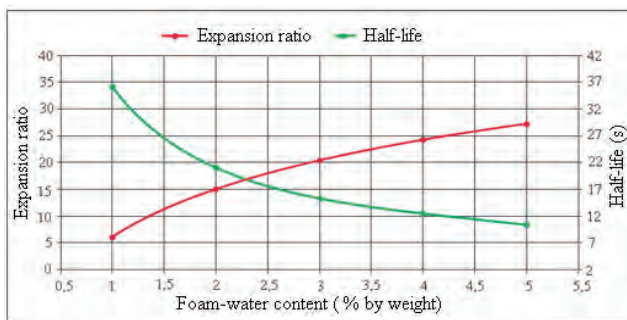


Fig. 2. Dependence of expansion of asphalt and its half-life period, the amount of water [9]

The expansion and the half-life depend on the type and grade of asphalt, as well as the amount of water dispensed during foaming. The greater the degree of expansion, the lower the viscosity of the asphalt.

The expansion and the half-life are affected by the following factors:

- the addition of water
- the type of asphalt
- origin of asphalt
- temperature of the asphalt
- asphalt and water pressure
- additives.

A schematic diagram of the formation of the expansion ratio and half-life time of foam asphalt is shown in Figure 3.

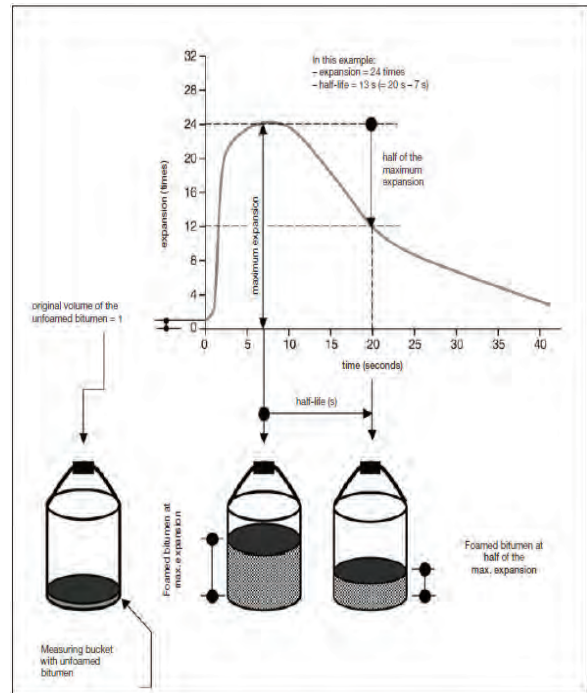


Fig. 3. Scheme of formation of asphalt and expanding its half-life period [9]

So far technologies developed such as WAM Foam, LEA based on several stages of production. Diagram of the manufacture of mixtures WAM Foam is shown in Figure 4.

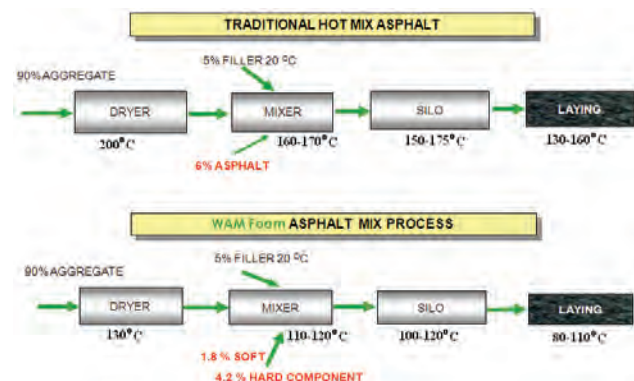


Fig. 4. Schematics of the typical process conditions [6]

The production of cycle mineral mix asphalt WAM Foam technology is shown in Figure 5.

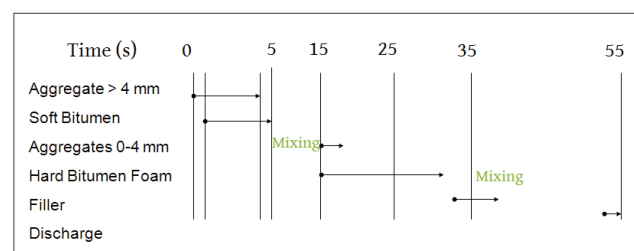


Fig. 5. WAM Foam production cycle [6]

In order to produce such a mixture, a minor modification of Plant Asphalt Mixture is necessary by use of a device for foaming of the asphalt. Another method of preparing compounds of the reduced temperature is to use a synthetic wax Fischer-Tropsch (FT). This product is a synthetic, long-chain hydrocarbon derived from the CO_2 and H_2 in the Fischer-Tropsch synthesis. It has a greater length of the hydrocarbon chains and the crystal structure finer. Paraffin hydrocarbon chains of naturally occurring asphalt contain from 15 to 50 carbon atoms, while in the FT synthetic wax, this number varies from 40 to 115. Adding to the FT wax reduces the viscosity of the asphalt. The Figure 6 shows the FT synthetic wax granules.



Fig. 6. Synthetic wax F-T granules

3. The research program

The scope of research included two stages:

- I. The study of the basic parameters of asphalt and 35/50 with the addition of F-T synthetic wax:
 - penetration by PN-EN 1426
 - softening point by PN-EN 1427
 - breaking point by PN-EN 12593.
- II. Determination of foaming characteristics of bitumen 35/50 modified synthetic FT wax:
 - expansion ratio
 - half-life.

In order to determine the optimum amount of wax in the first synthetic stage is necessary to basic research of asphalt binder 35/50 modified FT synthetic wax in an amount of from 1.0% to 2.5% in increments of 0.5% was conducted. Basic properties of bitumen 35/50 modified FT wax are given in Figures 7, 8, 9.

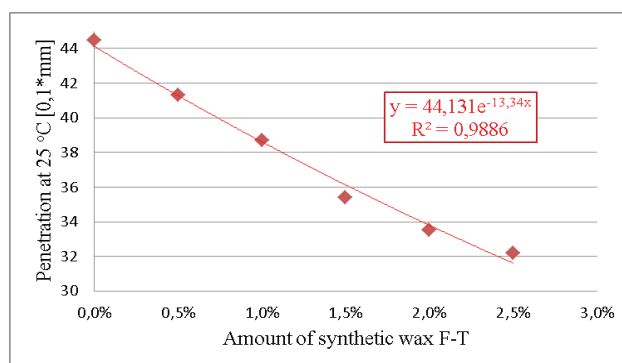


Fig. 7. Dependency of penetration of bitumen 35/50 on the amount of F-T synthetic wax

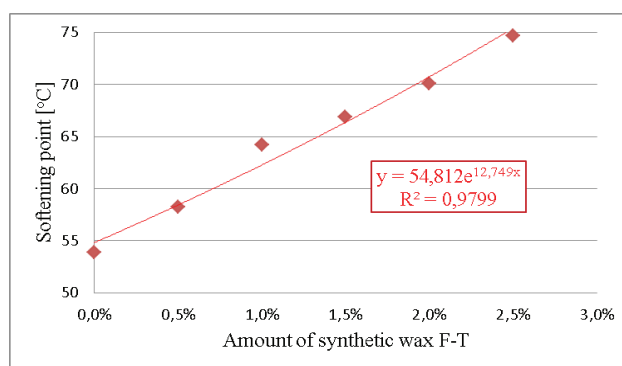


Fig. 8. Dependency of the softening point of bitumen 35/50 on the amount of F-T synthetic wax

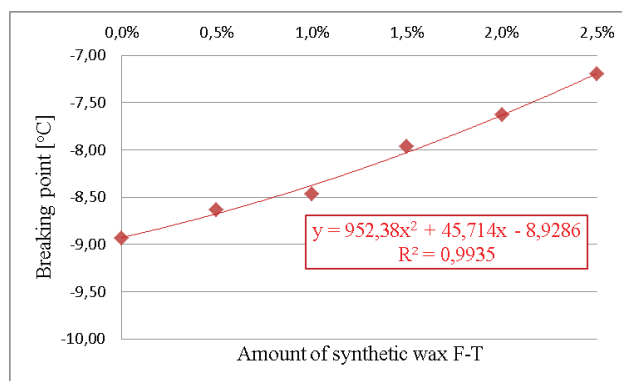


Fig. 9. Dependency of the breaking point of bitumen 35/50 on the amount of F-T synthetic wax

It can be seen that an increase in the modifier causes an increase the softening point and at the same time decrease in penetration. At the wax content of 2.5% FT synthetic bitumen is characterized by penetration of the lowest value and the highest softening point.

The next element in the stage II study was to determine the characteristics of foamed bitumen that have been made for bitumen 35/50, and the same bitumen with different contents of FT synthetic wax in order to select the optimum content of the modifier. Figure 10 illustrates the foaming characteristics of the asphalt content of the modifier.

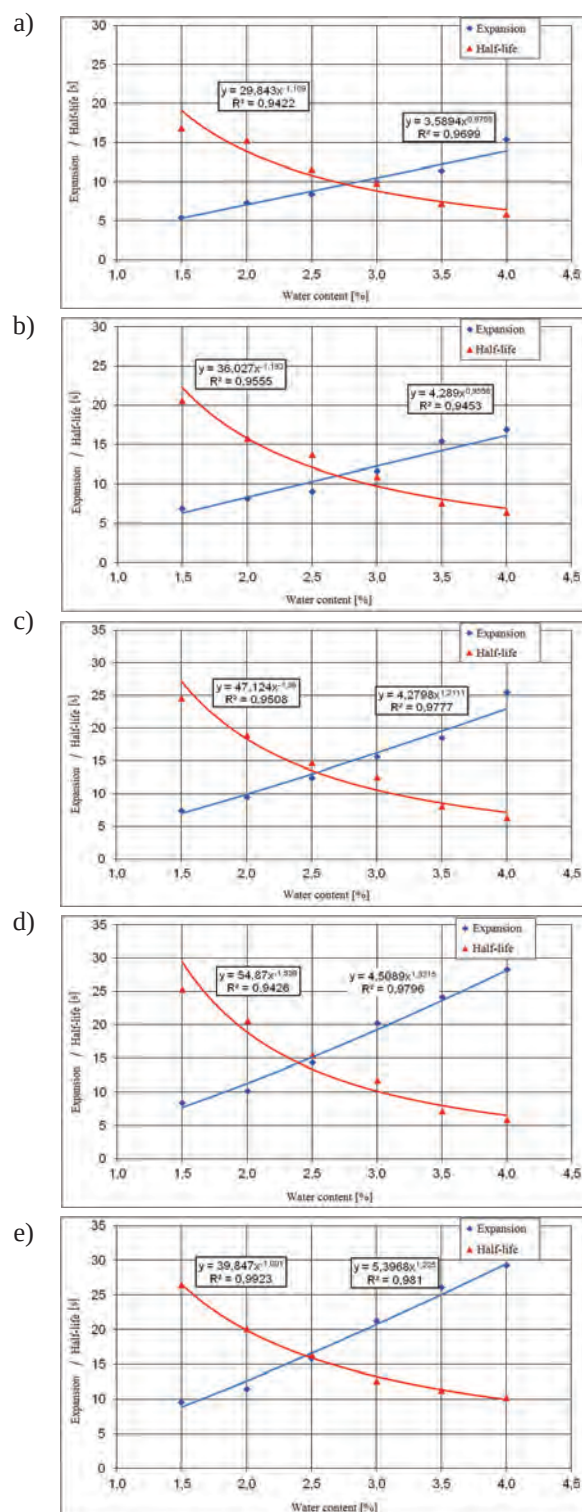


Fig. 10. Characteristic of foaming bitumen 35/50

a) without the addition of F-T wax, b) addition of 1.0% of the F-T wax, c) addition of 1.5% F-T wax, d) addition of 2.0% of the F-T wax, e) addition of 2.5% F-T wax

On the basis of the intersection of the characteristics of the foamed bitumen: the expansion index and the half-life determined optimum amount of water, which are shown in Table 1.

Table 1. Foamed bitumen parameters for the recommended water content for foaming

Kind of bitumen	Water content %	WE Expansion ratio Determined		t½ Half-life, s Required	
		Determined	Required	Determined	Required
35/50	3.0	10.17	10	8.75	8
35/50 + 1.0% wax F-T	3.0	11.65		10.84	
35/50 + 1.5% wax F-T	2.5	12.46		14.68	
35/50 + 2.0% wax F-T	2.5	14.38		15.41	
35/50 + 2.5% wax F-T	2.5	15.87		16.43	

Research has shown that the best parameters of asphalt foam is characterized by 35/50 with 2.5% FT synthetic wax for optimum amount of water of 2.5%.

4. Conclusions

Basing on the research it can be seen that the use of synthetic wax before foaming process brings a positive effect on the properties of foam asphalt. That could help reduce the production and compaction temperatures of asphalt.

References

- [1] Iwański M., *Podbudowy z asfaltem spienionym*, „Drogownictwo” 2/2006.
- [2] LT-Asphalt: *LT-Asfalt – Zastosowania na zimno i na ciepło*. Nyfoam, Informacja grupy produktowej, Nynas.
- [3] Olard F., *LEA® (Low Energy Asphalts): A new generation of half-warm mix asphalts. The experience of EIFFAGE Travaux Publics*. EIFFAGE Travaux Publics Research & Development Department, LEA-CO Technical Committee, 2007.
- [4] Piłat J., Radziszewski P., *Nawierzchnie asfaltowe*, WKŁ, 2007.
- [5] Shell Bitumen: *Shell WAM FOAM PROCESS for reducing energy consumption, and emissions*, 2011.
- [6] BP: *WAM Foam: asphalt pavements at lower temperatures*, BP, WMA TWG, 2007.
- [7] Warm Mix Asphalt, National Asphalt Pavement Association, 2008
- [8] Wirtgen: *Bitumy pienne – innowacyjne spoiwo do budowy dróg*. Wirtgen, Polska, 2005.
- [9] Wirtgen: *Cold Recycling Manual*, Wirtgen GmbH, 2006.

The research was co-financed by the European Social Fund within the project “Invention - the potential of young researchers and knowledge/innovation transfer as support to key areas of the economy of Świętokrzyskie Province, identification number WND-POKL 08.02.01-26-020/1”

Justyna Mrugała

Wpływ wosku syntetycznego na parametry spieniania asfaltu 35/50

1. Wprowadzenie

Świadomość społeczeństwa o ochronie zdrowia, środowiska oraz bezpieczeństwa pracy wzrosła znacząco w ostatnich latach. W związku z tym celowe jest ograniczanie ilości zanieczyszczeń oraz zużycia energii podczas wytwarzania i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych. W drogownictwie powszechnie stosowane są mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane w technologii na gorąco HMA (ang. *Hot Mix Asphalt*), które są bardzo energochłonne, z uwagi na to, że konieczne jest podgrzanie składników mieszanki: kruszywa i asfaltu do wymaganej temperatury zapewniającej odpowiednią lepkość asfaltu i właściwy stopień otoczenia ziaren kruszywa. Podczas ich produkcji wydzielana jest duża ilość gazów cieplarnianych, co negatywnie wpływa na środowisko. Dlatego od kilkunastu lat opracowywane są technologie obniżające temperaturę wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych, tj. technologia na ciepło WMA (ang. *Warm Mix Asphalt*), technologia na półciepło HWMA (ang. *Half Warm Mix Asphalt*) oraz technologia na zimno CMA (ang. *Cold Mix Asphalt*). Schemat zakresu temperatury produkcji poszczególnych rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych przedstawiono na rysunku 1.

Istnieją dwie możliwości obniżenia temperatury wytwarzania i wbudowywania mieszanki mineralno-asfaltowej:

- poprzez zastosowanie środków obniżających lepkość asfaltu, co powoduje obniżenie temperatury wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej, tj. Sasobit, Asphaltan B, Cecabase RT itd.;
- przez modyfikację procesu technologicznego, tj. LT-Asphalt Nynas, Shell Wam-foam, LEA – Low Energy Asphalt itd.

Do podstawowych różnic technologii na gorąco (HMA) i technologii na ciepło (WMA) można zaliczyć [2, 3, 5, 7]:

- redukcję temperatury wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej w stosunku do technologii na gorąco (HMA);

- obniżenie poziomu starzenia asfaltu z uwagi na ograniczenie temperatury w procesie wytwarzania;
- spowolnienie tempa wychładzania mieszanki w warunkach niskich temperatur z uwagi na mniejszą różnicę temperatur w układzie mieszanka–powietrze;
- wydłużenie czasu efektywnego układania i tym samym polepszenie jakości wykonania warstwy nawierzchni;
- obniżenie czasu stygnięcia do poziomu, w którym można wprowadzić ruch;
- poprawę bezpieczeństwa pracowników;
- redukcję emisji szkodliwych gazów;
- zmniejszenie ilości energii niezbędnej do doprowadzenia lepiszcza do wymaganego poziomu lepkości;
- zmniejszenie uciążliwości wytwórni mieszanek asfaltowych w pobliżu terenów zamieszkałych.

2. Charakterystyka asfaltu spienionego

W 1957 r. prof. L. Csanyi opracował technologię z asfaltem spienionym. W 1968 r. Mobil Oil Corporation opatentował własną metodę spieniania asfaltu. W roku 1991, po wygaśnięciu patentów firmy Mobil, nastąpił rozwój technologii mieszanek z użyciem asfaltów spienionych [1].

Właściwości fizyczne piany asfaltowej oceniane są na podstawie dwóch parametrów [4, 9]:

- wskaźnika ekspansji (WE), który stanowi stosunek maksymalnej objętości asfaltu po spienieniu do początkowej objętości asfaltu, określa wielokrotność zwiększenia się asfaltu podczas jego spienienia;
- okres półtrwania ($t_{1/2}$) jest to czas mierzony w sekundach dla asfaltu spienionego w chwili uzyskania połowy maksymalnej objętości, czyli różnica między czasem, w którym asfalt charakteryzuje się maksymalnym spienieniem a czasem, w którym utrzymuje się jeszcze połowa maksymalnej jego objętości po spienieniu.

Pomiędzy tymi parametrami istnieje zależność, współczynnik ekspansji jest odwrotnie proporcjonalny do czasu połowicznego życia (rys. 2).

Na współczynnik ekspansji oraz okres półtrwania ma wpływ rodzaj i gatunek asfaltu, a także ilość dozowanej wody spieniającej. Im większy będzie stopień ekspansji, tym mniejsza będzie lepkość asfaltu.

Na wskaźnik ekspansji oraz okres półtrwania mają wpływ następujące czynniki:

- dodatek wody
- rodzaj asfaltu
- pochodzenie asfaltu
- temperatura asfaltu
- ciśnienie asfaltu i wody
- dodatki.

Ideowy schemat kształtowania się współczynnika ekspansji i czasu połowicznego rozpadu piany asfaltowej przedstawiono na rysunku 3. Dotychczas opracowane technologie tj. WAM Foam, LEA opierały się na kilkuetapowej produkcji. Schemat wytwarzania mieszanek Wam Foam przedstawiono na rysunku 4. Cykl produkcyjny mieszanki mineralno-asfaltowej w technologii WAM Foam przedstawiono na rysunku 5. W celu wytworzenia takiej mieszanki niezbędna jest niewielka modyfikacja Wytwórni Mieszanek Asfaltowych, poprzez zastosowanie urządzenia do spieniania asfaltu. Inną metodą wytwarzania mieszanek o obniżonej temperaturze jest stosowanie wosku syntetycznego Fischera-Tropscha (F-T). Produkt ten to syntetyczny, długołańcuchowy węglowodór uzyskiwany z CO_2 i H_2 w procesie syntezy Fischera-Tropscha. Posiada większą długość łańcuchów węglowodorowych oraz drobniejszą strukturę krystaliczną. Łańcuchy węglowodorowe parafin występujących naturalnie w asfalcie zawierają od 15 do 50 atomów węgla, natomiast w wosku syntetycznym F-T liczba ta wynosi od 40 do 115. Dodanie wosku F-T do asfaltu powoduje obniżenie lepkości asfaltu. Na fotografii 6 przedstawiono wosk syntetyczny F-T w postaci granulek.

3. Program badań

Zakres badań obejmował dwa etapy:

- I. Badania podstawowych parametrów asfaltu oraz 35/50 z dodatkiem wosku syntetycznego F-T:
 - penetracja wg PN-EN 1426
 - temperatura mięknięcia wg PN-EN 1427
 - temperatura łamliwości wg PN-EN 12593.
- II. Określenie charakterystyk spieniania asfaltu 35/50 modyfikowanego woskiem syntetycznym F-T:
 - współczynnik ekspansji
 - czas połowicznego rozpadu.

W celu określenia optymalnej ilości wosku syntetycznego w pierwszym etapie przeprowadzono podstawowe badania lepkości asfaltowego 35/50 zmodyfikowanego woskiem syntetycznym F-T w ilości od 1,0% do 2,5% z krokiem co 0,5%. Podstawowe właściwości asfaltu 35/50 zmodyfikowanego woskiem F-T przedstawiono na rysunkach 7, 8 i 9.

Można zauważyć, iż wzrost ilości modyfikatora powoduje wzrost temperatury mięknięcia a zarazem spadek penetracji. Przy zawartości 2,5% wosku syntetycznego F-T asfalt charakteryzuje się najniższą penetracją oraz najwyższą temperaturą mięknięcia.

Następnym elementem badań w etapie II było określenie charakterystyki spieniania asfaltu, które zostały wykonane dla asfaltu 35/50 oraz dla tego samego asfaltu z różną zawartością wosku syntetycznego F-T w celu wyboru optymalnej zawartości modyfikatora. Na rysunku 10 zilustrowano charakterystyki spieniania asfaltu przy danej zawartości modyfikatora.

Na podstawie przecięcia się charakterystyk asfaltu spienionego: wskaźnika ekspansji i okresu półtrwania określono optymalną ilość wody, którą przedstawiono w tabeli 1. Z przeprowadzonych badań wynika, że najlepszymi parametrami spieniania charakteryzuje się asfalt 35/50 z dodatkiem 2,5% wosku syntetycznego F-T dla optymalnej ilości wody 2,5%.

4. Podsumowanie

Technologia asfaltu spienionego w ostatnich latach rozwinęła się znacząco w związku z wprowadzeniem wymagań w zakresie emisji gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej co sprawiło, że celowe staje się rozwijanie technologii mieszanek niskotemperaturowych.

Z przeprowadzonych badań można zauważyć, że zastosowanie wosku syntetycznego przed procesem spieniania korzystnie wpływa na właściwości piany asfaltowej, co może umożliwić obniżenie temperatury wytwarzania i zagęszczania mieszanki mineralno-asfaltowej.

„Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Projektu „INWENCJA – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki” o numerze identyfikacyjnym WND-POKL 08.02.01-26-020/1”.



environment
environment

AGNIESZKA SEWERYN

Kielce University of Technology
Faculty of Civil and Environmental Engineering
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce, Poland
e-mail: aseweryn@anrrz.pl

THE IDENTIFICATION OF THE SORPTION PROPERTIES OF ASH FROM ARBOREAL BIOMASS USED TO REMOVE BIOGENIC COMPOUNDS AND HEAVY METAL IONS FROM POLLUTED WATER

Abstract

The paper presents an exploratory study regarding the sorption capacity of the ash from arboreal biomass, generated by self-combustion in a thermoelectric power plant. Biomass is one of the most promising sources of renewable energy in natural and economic conditions in Poland. The fuel derived from forest areas and specific energy crops, is becoming more widely used due to legislative considerations and needs for sustainable management of natural resources. It creates an increasing amount of waste from a thermal conversion of biomass (combustion by-products) – mainly in the form of ash.

Thermoelectric power plants are obliged to manage combustion by-products. By-products of combustion are utilized, stored or managed depending on the nature of the applied fuel and the waste code, and also according to the regulations. Technologies concerning their economic application allow reducing the amount of waste and thereby limiting their damage on the environment. The research deals with the ash from arboreal biomass collected from the thermoelectric power plant in Kielce. The research considers the possibility of its application in order to remove pollution from municipal wastewater and leachate from municipal landfills. The adsorption levels were determined using the analysis of ion concentration in solution before and after adding the ash. The ion concentration was examined by means of an atomic absorption spectrometer. The results and sorption properties of ash were evaluated within defined process parameters (pH, temperature, reaction time).

Keywords: waste utilization, arboreal biomass, sorption, heavy metals

1. Introduction

Due to the growing demand for energy and for new plants formations, the amount of industrial waste generated by the energy sector is constantly increasing.

Currently, co-firing of coal and biomass is the most common [15]. The co-firing method has many advantages in comparison to burning fossil fuels alone. In such a mixture, coal acts as a stabilizer in the combustion process. Using coal-biomass mixtures reduces by-products emissions to the atmosphere, mainly SO_2 , thus gas desulfurization is not necessary. The CO_2 emission rate during the combustion process is taken as zero [7].

Biomass is defined as a product of agricultural origin, used directly as fuel, or is processed into other forms before combustion. The combustion process results in the emission of heat which can be converted into other

forms of energy e.g. electricity. According to European Union (Directive 2001/77/WE), biomass means the biodegradable fractions of products, such as waste and residues from agro-industry (including vegetable and animal matter), forestry and related industries as well as industrial and urban waste. The use of biomass has a lot of advantages: the reduction of environmentally harmful substances, including SO_2 , NO_x , and organic pollutants; the reduction of emission of CO_2 which is responsible for the greenhouse effect (correlation with the amount of biomass taken for the combustion); the reduction of environmental degradation caused by fossil fuel extraction and depositing waste of biomass nature in the environment.

In addition to the environmental protection benefits, there are also economic and social ones: the use of biomass energy potential, widening the local labour

markets, the development of many economic sectors, increasing the country energy security.

Biomass is expressed in units called wet weight and dry weight (anhydrous weight). The following products are the most commonly used for energy purposes:

- wood
- cereal straw and other agricultural production waste
- animal excrements
- green waste, e.g. grass
- vegetable oils and animal fats.

According to the IED directive of 8th November 2010 [8] the rules will be tightened, therefore issuing authorization for industrial installations with high emissions will be limited. It will help to close the installations which do not meet the relevant criteria concerning emissions. Therefore, coal plants must face rigorous requirements concerning acceptable emission standards for SO_2 , NO_x , and particulates. No carbon power plants will be able to function without efficient desulfurization, denitrification, and gas extraction systems. It results in incurring new investment expenses (costs).

The directive also included the provision regarding longer periods of heat sources exploitation on the old basis, provided that the total power does not exceed 200 MW. Moreover, obtaining the integrated permissions before 27th November 2002 will provide district heating with 50% of the heat produced in these plants. The standards set for the types of sources in the directive 2001/80/UE can not be exceeded. Poland should use renewable sources in order to reduce CO_2 emission and to meet the directive's requirements. Using biomass in order to improve the structure of fuel consumption dates from 2002.

According to the environmental regulations and the statutorily imposed requirements of using renewable energy in power plants production, a mixture of coal and biomass regarded as fuel is considered ecological. In compliance with the applicable regulations on the development of alternative energy sources, including renewable energy (Energy law, OJ 97.54.348), industrial power plants in Poland have been implementing co-firing of coal with biomass since 2002 [11].

In some industrial plants, vegetable biomass is combusted separately. It also applies to the thermoelectric power plant in Kielce, where arboreal biomass is burnt in the OS-20 boiler in the non-heating period. As a result of arboreal biomass combustion, by-products are produced, mainly ash, which, like ash from coal, requires managing or depositing in a landfill, in compliance with the environmental protection regulations.

At present, the PGE Thermoelectric Power Plant Kielce Ltd., is the largest supplier of thermal energy in Kielce. In the years of 2007 and 2008, the company built a cogeneration unit with 10.5 MW electricity target and with over 80% efficiency, based on biomass combustion. Since then, the ash from biomass has become problematic waste without any possible treatment. The Thermoelectric Power Plant in Kielce (hereinafter referred to as EC Kielce) possesses its own landfill for the ash from colliery spoils, where the ash from coal-fired boilers is stored using the wet method. However, there are many physical and chemical differences between the ash from biomass and the ash from colliery spoils. The ash from biomass needs to be accumulated selectively without any storage in the landfill.

The review of the available knowledge regarding possibilities of using ash in the light of the needs reported by the Thermoelectric Power Plant in Kielce, led to the understanding that the utilization of the ash from biomass can be done in a number of different ways. The ash from biomass can be used as a fertilizer in agriculture and horticulture [5, 19, 21]. It is also applied in road construction [4], in cement production [21, 30], in concrete production [12, 13], and in ceramic industry [29]. High content of unburnt carbon makes ash become a low-cost sorbent [11].

Moreover, in the literature there are some reports about attempts to use ash from biomass in order to reduce the NO_x emission from combustion process [6], and to use it as a pollution sorbent in polluted water [2, 20], mainly due to high content of amorphous silica and unburnt carbon [10].

It has been shown that the method of heavy metals sorption used on ash from biomass might be an advantageous alternative to conventional methods of water purification, particularly in the case of wastewater containing heavy metals at a concentration below 100 mg/l [1, 16, 25].

The experimental part focuses on the possibility of using ash from biomass as a pollution sorbent present in municipal wastewater and landfill leachate.

Wastewater is utilised water from households, municipal buildings, industry, businesses, and it also refers to rain water. Industrial wastewater is generated in manufacturing and service facilities in various technological processes. The amount and the type of wastewater depends on a company and the production technologies applied there. The results of the research conducted in many urban areas has shown that urban wastewater always contains heavy metals regardless

of the type of sewerage system and the method of industrial and municipal waste disposal [9].

Landfill **leachate** has a diversified chemical composition. Apart from organic substances, it also contains heavy metals and their compounds. Leachate, while being stored, undergoes chemical transformations leading to a formation of other connections including the complexes of fulvic and humic acids. Creation of such compounds is particularly likely to happen in stabilized landfills where leachate contains significant amounts of humic compounds. Such leachates are characterized by a high COD/BOD ratio, and are not susceptible to biological treatment [14]. The major difficulties in establishing highly efficient methods of leachate treatment include the presence of organic compounds which are resistant to biochemical decomposition, and high concentrations of nitrogen.

The previous research revealed considerable capacity of ash from arboreal biomass as regards the sorption of organic compounds, which was examined using methylene blue as the model dye [26]. The presented examination results allow estimating the capacity of ash from biomass to remove nutrients and heavy metals contained in domestic wastewater and municipal landfill leachate.

2. Experimental Part

The aim of the research was to determine the effectiveness of removing nutrients and heavy metal ions from actual municipal wastewater and municipal landfill leachate using ash from arboreal biomass as a sorbent. The solution was based on permanent chemical bonds of heavy metal ions on the sorbent.

The research deals with the ash from arboreal biomass coming from the Thermoelectric Power Plant Kielce formed as a by-product of burning forest wood chips and partly energy willow in the OS-20 steam boiler. The OS-20 boiler is a classical drum boiler with natural circulation, consisting of four vertical ducts. The temperature over the grate while the boiler is in operation is maintained at 850°C.

Ash from arboreal biomass is composed of dust fractions captured from flue gas in highly efficient fabric precipitators. According to the waste catalogue such ash has been identified as 10 01 03 i.e. the fly ash from peat and untreated wood. The ash is characterized by alkaline reaction, solid consistency and black colour. The examined ash was collected from the industrial plant in an air-dry state. Sampling took place in accordance with the PN-EN 450-1 standard.

The ash was analyzed for loss on ignition, as well as for qualitative and quantitative oxide and mineral composition. In order to quantify crystalline phases and to determine the total contents of amorphous phases, an X-ray diffraction method with the external standard (Table 1) have been applied.

The analysis of the particle size distribution was carried out using a laser diffraction method with the Mastersizer Microplus analyzer from Malvern Instruments Ltd. The measurement was taken in 0.1 m% solution of sodium pyrophosphate in recirculation. During the measurements, ultrasounds were used to break up the agglomerates. The duration of the ultrasound was chosen according to the time of reagglomeration. The results obtained using this method are presented in Figure 1.

The ash particles morphology was assessed using the scanning electron microscopy QUANTA FEG250. The grain size testing was conducted in order to estimate the contents of individual fractions in the ash. It was achieved by sieving using a set of six sieves with the mesh sizes of 2.0, 1.0, 0.25, 0.05 and 0.01 mm. The ash for sieving was dried to a constant weight at 105°C.

The wastewater used in the examination was collected in the municipal wastewater treatment plant in Sitkówka Nowiny. The leachate was collected in the municipal landfill in Promnik which supports the Kielce agglomeration. Sampling of wastewater and leachate was performed in accordance with the applicable standards: PN-ISO 5667-10:1997, PN-EN ISO 5667-13:2004. The heavy metal sorption analysis was performed by means of the spectrometer iCE 3000 C113500118 v1.30 using flame techniques.

3. Results and Discussion

The examination of the ash elemental composition has shown that heavy metals are present in the ash (Table 1). The cadmium content is ranked at the concentration levels which exceed the standards regarding the sediments and the waste eligible for agriculture (the standards were established by the Minister of Environment on 1st August 2002 on municipal sewage sludge [22]). Moreover, according to the regulation of the Minister of Agriculture and Rural Development of 19th October 2004 on the implementation of certain provisions of the law concerning fertilizers and fertilization [23], the cadmium and lead content in the sample exceeds an allowable quantity of the pollution specified for calcium and calcium-ash fertilizers.

Table 1. Oxide and mineral composition, and heavy metals contribution in the average sample of ash from arboreal biomass used in the examination

Quantitative characterization of wood ash					
composition of the oxide	%	mineral composition	%	Metals	mg/kg d.m.
SiO ₂	70.22	Quarto	29.84	Cd	28.3
Al ₂ O ₃	4.18	Low-temperature cristobalite	0.28	Cr	117
Fe ₂ O ₃	2.07	Gehlenit	1.43	Cu	91.7
CaO	14.76	Rutyle	0.17	Ni	24.3
MgO	2.19	Melanteryt	0.13	Pb	114
K ₂ O	2.83	Portlandyt	0.36	Zn	2141
Na ₂ O	0.62	Calcite	5.24	Hg	0.44
P ₂ O ₅	1.33	Cynkit	10.25		
SO ₃	0.49	Amorphous phase	52.35		
Physical properties					
LOI	23.77%				
Surface area BET	7608 cm ² /g				
Average pore diameter	22.20Å				

Thus, taking into account the heavy metals content in the chemical composition of the ash, it should be noted that despite the presence of nutrients (N, P, K) – in favour of its usefulness as a fertilizer – the ash cannot be used in the recovery process using the R10 method i.e. distribution on the soil surface [24].

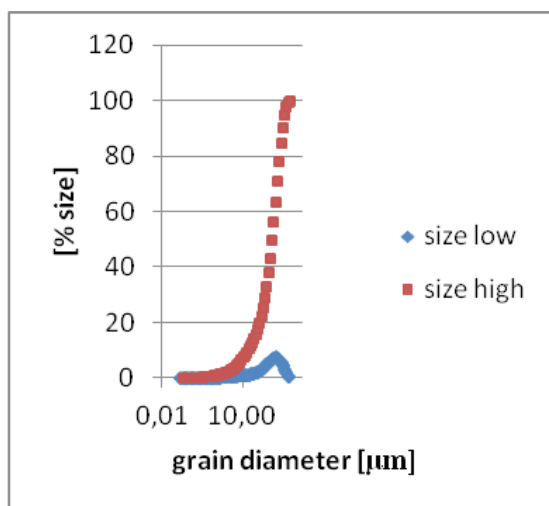


Fig. 1. Grain size distribution of the examined ash from arboreal biomass

The picture of granulometric composition is presented in Figure 1. The cumulative curves of grain composition indicate the content of the grains which

are smaller or larger than the diameter of the model mesh. It also allows estimating the percentage of each fraction. Microscopy observations of ash grain morphology revealed the presence of various structures, both irregular and spherical in shape – Figure 2.

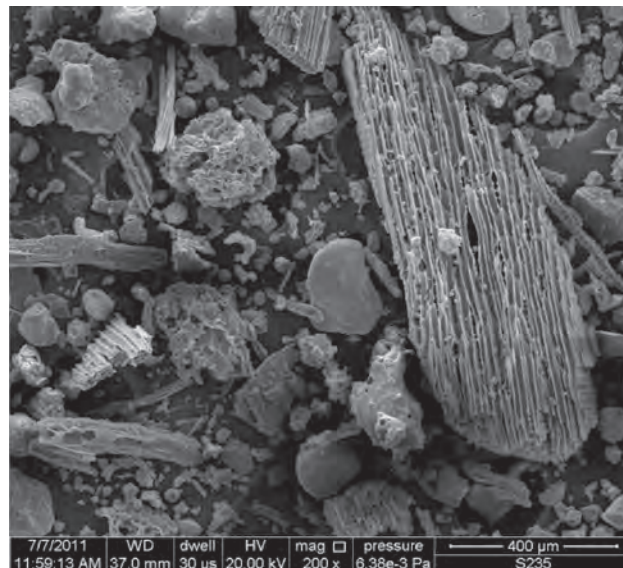


Fig. 2. SEM 200x. The morphology of the examined ash from arboreal biomass grains.

Due to the large variety of grain sizes, the ash has been sorted in order to separate grains of distinct sizes. In each model sieve, the macroscopic picture of the plus mesh fraction is completely different from the picture of the minus mesh fraction. It is also supported by microscopic observations (Fig. 3).

On sorting the ash on the sieves, the sorption capacity was examined separately for each fraction and for the unsorted ash. The solutions with the specified metal concentrations as well as natural polluted water (wastewater and landfill leachate) were used. The grain class designation for the ash from biomass, introduced in Table 2, was used for the sorption examination.

Table 2. The denotation of ash samples presorted for the experimental procedure

Class grain mm	Denotation of ash samples
> 0.01	B0
> 0.01 > 0.25	B _N 100
> 0.25 > 0.50	B _N 250
> 0.50 > 1.00	B _N 500
> 1.00 > 2.00	B _N 1
> 2.00	B _N 2
wood ash	B

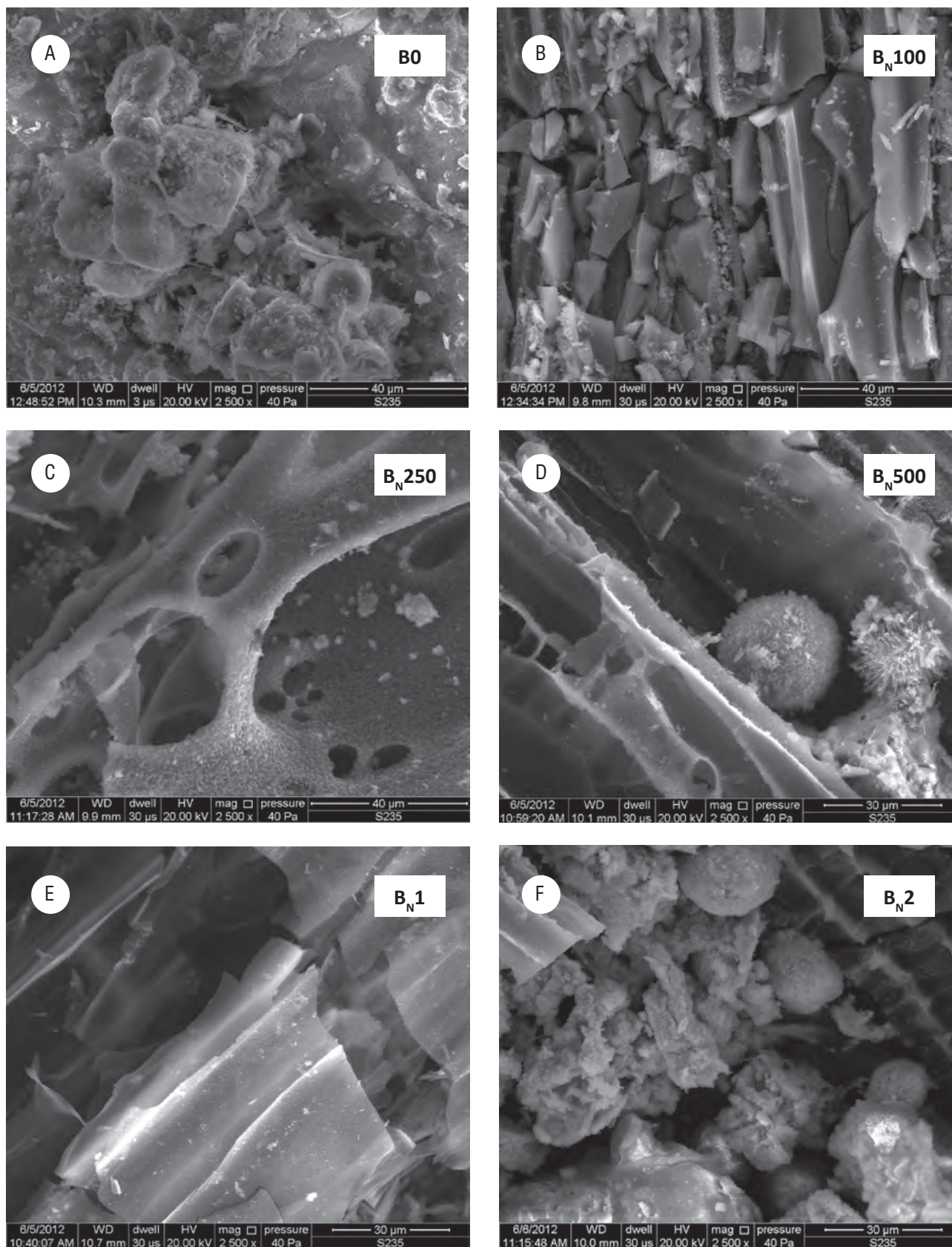


Fig. 3. SEM 2500x. The morphology of ash from arboreal biomass grains: A – fraction B₀, B – fraction B_N100, C – fraction B_N250, D – fraction B_N500, E – fraction B_N1, F – fraction B_N2 (fractions designations Table 2)

Nutrients removal

Both municipal wastewater and landfill leachate are characterized by diversified chemical composition. The designation of the selected indicators is shown in Table 3.

Table 3. Selected parameters of polluted water

Parametr	Municipal wastewater	Landfill leachate
Reaction, pH	7.95	7.97
Ammonium nitrogen, g N/m ³	45.3	190.46
Nitrite nitrogen, g N/m ³	0.28	0.5
COD, g O ₂ /m ³	208	1148
Phosphates g PO ₄ /m ³	40.68	18.98
Cu, g Cu/m ³	0.015	0.06
Pb, g Pb/m ³	0.001	0.34
Cd, g Cd/m ³	0.02	0.04
Fe, g Fe/m ³	0.3	8.05

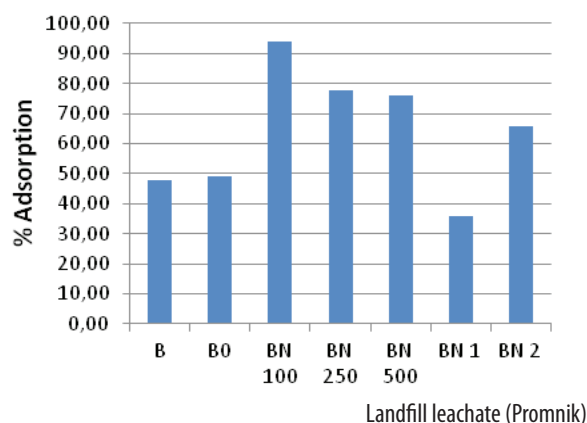
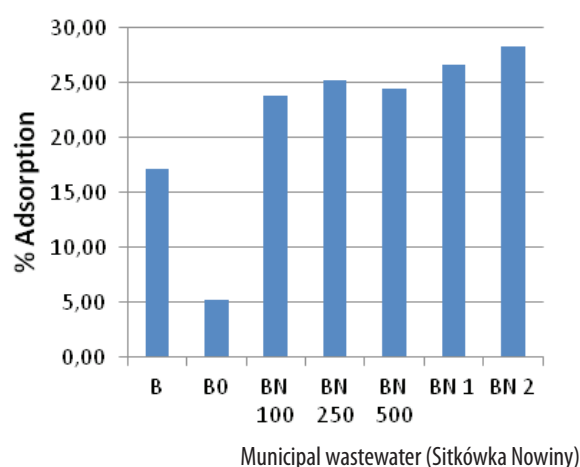


Fig. 4. Comparison of sorption capacity of particular ash fractions to remove phosphate ions present in sewage water and landfill leachate

High concentrations of nitrogen in polluted water is the main reason for difficulties in providing

highly efficient methods of water purification. Nitrogen compounds undergo biochemical and physicochemical changes, which result in ammonia formation. The compound is toxic to living organisms. Phosphorus compounds do not toxically affect aquatic organisms, but their presence causes water eutrophication. As the largest amounts of nutrients are discharged into the surface water from municipal and industrial wastewater, it is necessary to dispose of the compounds in the wastewater treatment [28]. The disposal of ammonia from wastewater using chemical methods is expensive, and the management of remaining sludge may be a problem. Another way of removing inorganic nitrogen compounds from wastewater is their biological degradation [27].

The sorption capacity of ash from arboreal biomass to remove phosphates from polluted water is shown in Figure 4. The observations show that the best sorption capacity regards the municipal wastewater fractions over 0.1 mm, while phosphates from landfill leachate are the most preferably absorbed on fractions between 0.1 and 1 mm.

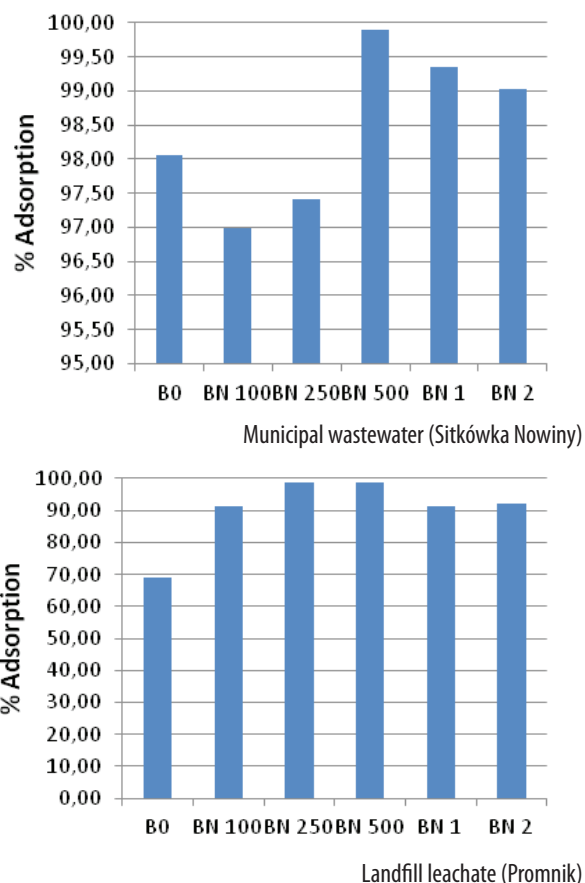


Fig. 5. Comparison of sorption ability of particular ash fractions to remove ammonia-nitrogen present in sewage water and landfill leachate

The best sorption of nitrates present in polluted water, mainly ammonium, was obtained on the ash fraction greater than 0.5 mm.

Metals removal

In order to assess the sorption capacity of ash to remove heavy metal ions, the initial study has been carried out using standard solutions with a specified contents of Cu, Cd, and Pb ions. The study has been carried out in order to identify the scale of heavy metal sorption in the solutions with defined metal concentrations. At this stage, the investigation involved mixing the weighed sample of ash (1g) with the appropriately prepared solution in the amount of 0.1 dm³. The sample was agitated for 4 hours, then filtered through a medium filter, and analyzed using the Perkin-Elmer 3100 atomic absorption spectrometer. The sorption analysis was conducted at atmospheric pressure and at room temperature.

The initial concentration of Cu ions in the solution was at the level of 1.136 ppm. After contact with the ash individual fractions in the assumed conditions, it was found that the best result was obtained for the BN100 fraction, i.e. for the ash grain size class 0.01–0.25 mm. Sorption was the weakest on the BN500 fraction, i.e. for the grain size class in the range from 0.50 to 1.00 mm.

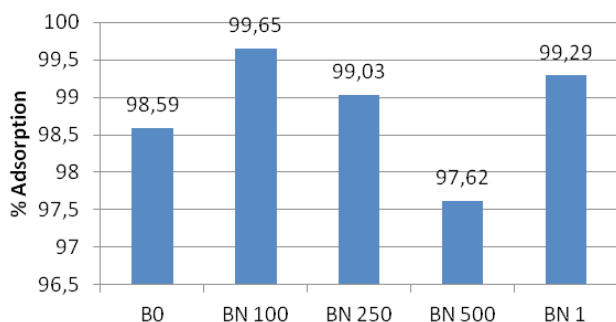


Fig. 6. Comparison of sorption capacity of ash fraction to remove Cu ions in standard solution

The initial concentration of Pb ions in the solution was at the level of 31.145 ppm. After contact with the individual fractions of the ash in the assumed conditions, it was found that the best result was obtained for the BN100 fraction, i.e. for the ash grain size class 0.01–0.25 mm. Sorption was the weakest on the BN1 fraction, i.e. for the grain size class in the 1.00–2.00 mm range.

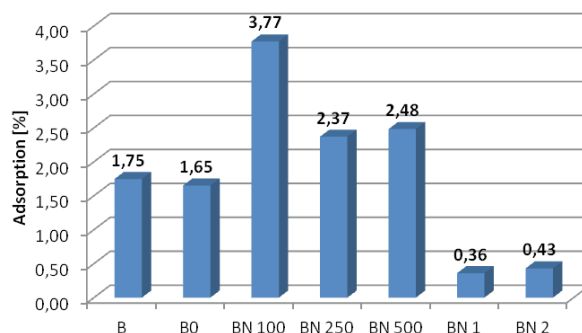


Fig. 7. Comparison of sorption capacity of ash fraction to remove Pb ions in standard solution

The initial concentration of Cd ions in the solution was at the level of 4.595 ppm. After contact with the individual fractions of the ash in the assumed conditions, it was found that the best result was obtained for the BN1 fraction, i.e. for the ash grain size class 1.00–2.00 mm. The sorption was the weakest on the BN0 fraction, i.e. for the grain size class below 0.01 mm.

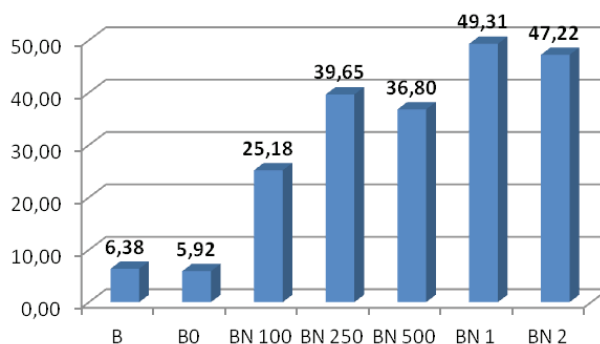


Fig. 8. Comparison of sorption capacity of ash fraction to remove Cd ions in standard solution

In the next stage, the actual municipal wastewater and landfill leachate were examined, focusing on Fe as a representative of the metals. The wastewater with ash, which was shaken for 4 hours, was examined using the spectrometer. Before the analysis, the landfill leachate was diluted with distilled water in 1:5 ratio. The study was performed on the ICE 3500 spectrometer using flame techniques.

The small fractions show the highest sorption capacity towards iron. It can be justified by a high content of amorphous silicon dioxide which forms stable bonds with heavy metal ions. Such reactions are stable and possible in a wide temperature range. However, they depend on changes in barometric pressure and changes in pH. In the examined wastewater and leachate, pH was maintained at 7.9 [3, 18]. The results of the analyses are shown in Figure 9.

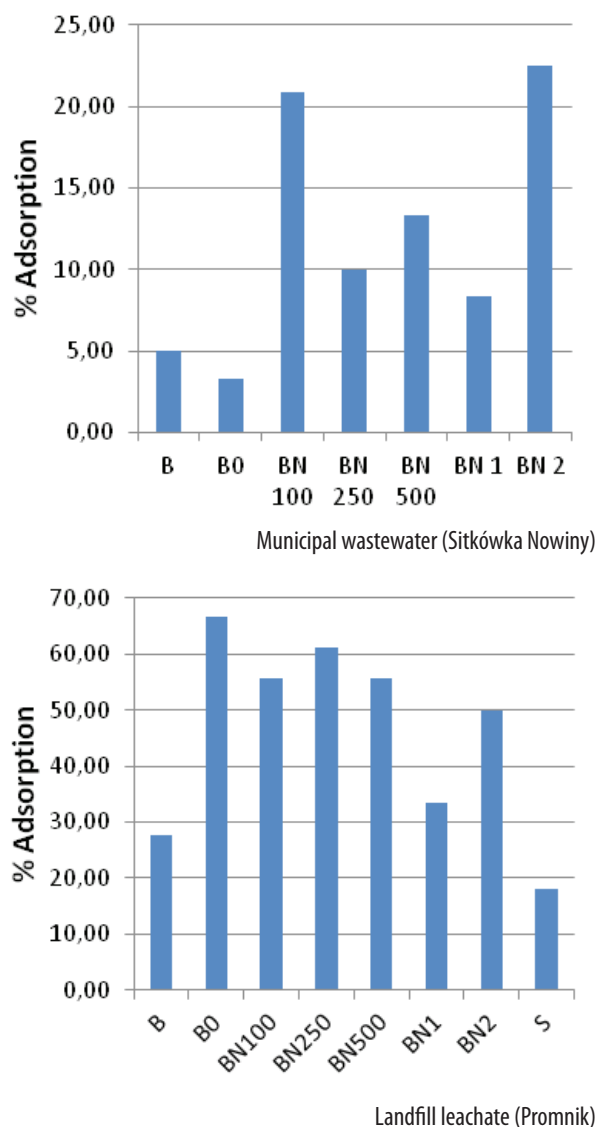


Fig. 9. Comparison of sorption capacity of ash fraction to remove Fe ions in standard solution

As regards the Fe sorption from the wastewater, the best results are obtained for the BN100 and BN2 fractions which are the grain size class in the 0.01–0.25 mm range and below 2.00 mm. The Fe sorption from the leachate was higher for smaller ash fractions. The differentiation of iron sorption susceptibility according to the nature of polluted water may depend on the presence of various metal forms. In order to prove the assumption, the sequential metal analysis (speciation) should be performed respectively.

In addition, the differentiation of sorption capacity of particular fractions of the ash from biomass can be supported by the grain morphology, the surface area, the elemental composition, the content of unburnt carbon. It will be studied further on in other research.

4. Conclusions

Due to the content of toxic substances (heavy metals) in the ash from arboreal biomass, it would make sense to search for ways of the ash management other than agricultural ones.

On the basis of the obtained results, it can be concluded that:

- the ash from biomass combustion in EC Kielce cannot be used in agriculture because of abnormal content of heavy metals;
- the examined ash from biomass is characterized by good sorption capacity to remove organic substances. It was previously proven using the model dye (methylene blue). In the conducted analysis, the ash capacity for nutrients (phosphorus and nitrogen) removal has been shown;
- the research proved the sorption capacity of ash to remove heavy metals by using standard solutions of copper ions and cadmium ions. The copper sorption analysis proved the ash capacity to remove copper in the presence of the small fraction achieving efficiency of over 99%, as well as the ash sorption capacity to remove cadmium ions achieving efficiency of up to 50%;
- in order to improve the sorption capacity of the ash from biomass, the ash needs to be sorted into fractions.

References

- [1] Ahluwalia S.S., Goyal D., *Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater*. Bioresource Technology, 98, pp. 2243–2257, 2007.
- [2] Ahmad A.A., Hameed B.H., Aziz N., *Adsorption of direct dye on palm ash: kinetic and equilibrium modeling*. Journal of Hazardous Material 141, (2007), pp. 70–76.
- [3] Alinnor I.J., *Adsorption of heavy metal ions from aqueous solution by fly ash*. Fuel, 86, (2007) Issues 5–6, March–April 2007, pp. 853–857.
- [4] Borowski G., Miłczak M., *Badania przydatności brykietów z popiołów paleniskowych jako podbudowy drogowe*, Postęp Nauki i Techniki, nr/2010, pp. 136–143.
- [5] Cameriani M.C., Steenari B., Sharma R., Beckett R., *Cd speciation in biomass fly ash particles after size separation by centrifugal SPLITT*. Fuel 81, (2002), pp. 1739–1753.
- [6] Chen Wei-Yin, Gathitu B.B., *Kinetics of post-combustion nitric oxide reduction by waste biomass fly ash*. Fuel Processing Technology 92, (2011), pp. 1701–1710.
- [7] Dyrektywa 96/61/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy w sprawie zintegrowanego zapobiegania i kontroli zanieczyszczeń (IPPC).

- [8] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 roku w sprawie emisji przemysłowych (tzw. „Dyrektywa IED”).
- [9] Franus M., *Zastosowanie glaukonitu do usuwania śladowych ilości metali ciężkich*. Politechnika Lubelska, Lublin 2010.
- [10] Grammelis P., Skodras G., Kakaras E., *Effects of biomass co-firing with coal on Ash properties*. Part I: characterization and PSD., *Fuel* 85 (2006), pp. 2310–2315.
- [11] Heechan Cho, Dalyoung Oh, Kwanho Kim, *A study on removal characteristics of heavy metals from aqueous solution by fly ash*. *Journal of Hazardous Material B127*, (2005), pp. 187–195.
- [12] Kosior-Kazberuk M., Gawlicki M., *Trwałość betonów zawierających popioły lotne ze spalania biomasy drzewnej i węgla kamiennego*. *Materiały Ceramiczne* 62/2, (2010) s. 156–160.
- [13] Kosior-Kazberuk M., *Odporność betonów zawierających popiół lotny ze współspalania węgla kamiennego i biomasy na wnikanie jonów chlorkowych*. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska* 1 (2010), s. 131–136.
- [14] Krzysztożek A., Bogacki J., Naumczyk J., *Badania nad usuwaniem metali ciężkich z odcieków ze składowisk odpadów w procesie Fentona oraz zastosowanie jego modyfikacji*. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* nr 51, 2011, s. 36–42.
- [15] Liszka M., Majchrzak H., *Analiza efektów ekologicznych w procesie współspalania węgla i biomasy na przykładzie Elektrowni Opole*. *Energetyka*, 2005, nr 3.
- [16] Łebkowska M., Karwowska E., *Usuwanie metali ciężkich ze ścieków przemysłowych i z osadów ściekowych*. Seria Wodociągi i Kanalizacja. Wydawnictwo PZiITS, Tom 10, Warszawa 2003.
- [17] Ministerstwo Środowiska. *Strategia rozwoju energetyki odnawialnej*. Ogólnopolskie forum odnawialnych źródeł energii – 2000, Łódź, 4-6 grudnia, 2000.
- [18] Mohan S., Gandhimathi R., *Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent*. *Journal of Hazardous Materials*, (2009) Volume 169, Issues 1–3, 30, pp. 351–359.
- [19] Pedersen A.J., *Characterization and electro-dialytic treatment of wood combustion fly ash for the removal of cadmium*. *Biomass and Bioenergy* 25, (2003), pp. 447–458.
- [20] Pengthamkeerati P., Satapanajaru T., Singchan O., *Sorption of reactive dye from aqueous solution on biomass fly ash*, *Journal of Hazardous Material* 153, (2008), pp. 1149–1156.
- [21] Rajamma R., Ball R.J., Tarelho L.A.C., Allen G.C., *Characterisation and use of biomass fly ash in cement – based materials*. *Journal of Hazardous Materials*, 172, (2009), pp. 1049–1060.
- [22] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. Nr 134, poz. 1140).
- [23] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. Nr 236, poz. 2369).
- [24] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 listopada 2007 r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz.U. Nr 228, poz. 1685).
- [25] Senthilkumaar S., Bharathi S., Nithyanandhi D., Subburam V., *Biosorption of toxic heavy metals from aqueous solutions*. *Bioresource Technology*, 75, pp. 163–165, 2000.
- [26] Seweryn A., Woźniak M., *Właściwości sorpcyjne modyfikowanych popiołów z węgla kamiennego*, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Kwartalnik*, Tom 24 – Zeszyt 3/3, PAN, Kraków 2008.
- [27] Siegrist H., Reithaar S., Lais P., *Nitrogen removal from digester supernatant – comparison of chemical and biological methods*. *Wat.Sci.Technol.*, 37(4-5): pp. 589–591, (1998).
- [28] Szewczyk K.W., *Technologia biochemiczna*. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa (2000).
- [29] Umamaheswaran K., Batra V.S., *Physico-chemical characterization of Indian biomass ashes*, *Fuel* 87, (2008), pp. 628–638.
- [30] Wang S., Miller A., Llamazos E., Fonseca F., Baxter L., *Biomass fly ash in concrete: mixture proportioning and mechanical properties*. *Fuel* 87, (2008), pp. 365–371.

The research was co-financed by the European Social Fund within the project “Invention - the potential of young researchers and knowledge/innovation transfer as support to key areas of the economy of Świętokrzyskie Province, identification number WND-POKL 08.02.01-26-020/1”

Agnieszka Seweryn

Właściwości sorpcyjne popiołów z biomasy drzewnej wobec związków biogennych i jonów metali ciężkich z wód zanieczyszczonych

1. Wstęp

W związku z rosnącym zapotrzebowaniem na energię i nowo powstającymi instalacjami, ilość wytwarzanych odpadów przemysłowych z sektora energetycznego ulega nieustannemu wzrostowi. Obecnie najbardziej popularne jest współspalanie węgla z biomasą [15]. Metoda współspalania ma wiele zalet w porównaniu ze spalaniem samych paliw kopalnych. W mieszance tej węgiel odgrywa rolę stabilizatora procesu spalania. Zastosowanie mieszanek węgla i biomasy ogranicza głównie emisję do atmosfery SO_2 , dzięki czemu nie jest wymagane odsiarczanie spalin. Wskaźnik emisji CO_2 podczas procesu spalania przyjmuje się jako zerowy [7].

Biomasa jest definiowana jako produkt pochodzenia rolniczego, wykorzystywany bezpośrednio w formie paliwa lub przetworzony przed spalaniem do innej postaci. W wyniku spalania uzyskuje się ciepło, które może być przetworzone na inne rodzaje energii, np. energię elektryczną. Zgodnie z definicją Unii Europejskiej (Dyrektywa 2001/77/WE) biomasa oznacza podatne na rozkład biologiczny frakcje produktów, czyli odpady i pozostałości z przemysłu rolnego (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), z leśnictwa i związanych z nim gałęzi gospodarki, jak również odpady przemysłowe i miejskie. Wykorzystanie biomasy niesie ze sobą wiele korzyści: zmniejszenie emisji substancji szkodliwych dla środowiska, w tym SO_2 , NO_x i zanieczyszczeń organicznych, redukcja emisji CO_2 , odpowiedzialnego za efekt cieplarniany (współzależność z ilością biomasy wprowadzanej do spalania), ograniczenie degradacji środowiska w wyniku wydobywania paliw kopalnych oraz deponowania w środowisku odpadów o charakterze biomasy.

Obok korzyści wynikających z ochrony środowiska istnieją także korzyści ekonomiczne i społeczne: wykorzystanie potencjału energetycznego biomasy, rozwój lokalnych rynków pracy, rozwój wielu sektorów gospodarki, zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju.

Biomasa wyrażana jest w jednostkach tzw. świeżej masy oraz suchej masy (masa bezwodna). Do celów energetycznych wykorzystuje się najczęściej:

- drewno
- słomę z upraw zbożowych, makuchy i inne odpady produkcji rolniczej
- odchody zwierząt
- odpady „zielone”, np. trawy
- oleje roślinne i tłuszcze zwierzęce.

Zgodnie z dyrektywą IED z 8 listopada 2010 roku [8] nastąpi usztywnienie przepisów i zawężenie wydawania pozwoleń dla instalacji wysokoemisyjnych. Przyczyni się to do zamknięcia instalacji, które nie będą spełniać odpowiednich kryteriów dotyczących emisji. Stawia to przed instalacjami węglowymi bardzo rygorystyczne wymagania dotyczące dopuszczalnych standardów emisyjnych SO_2 , NO_x i pyłów. Żadna instalacja węglowa nie będzie mogła funkcjonować bez sprawnych systemów odsiarczania, odazotowania i odpylania spalin. Powoduje to konieczność poniesienia nowych wydatków (kosztów) inwestycyjnych.

W dyrektywie znalazł się także zapis umożliwiający przedłużenie eksploatacji źródeł ciepłowniczych na starych zasadach, pod warunkiem, że łączna moc nie przekracza 200 MW. Ponadto uzyskanie zintegrowanych pozwoleń przed 27 listopada 2002 roku, pozwoli dostarczyć do sieci ciepłowniczych 50% ciepła wytwarzanego w tych instalacjach. Nie można przekroczyć standardów ustalonych dla tego typu źródeł w dyrektywie 2001/80/UE. Polska, chcąc ograniczyć CO_2 i spełnić zalecenia dyrektywy, powinna wykorzystywać źródła odnawialne. Zastosowanie biomasy w Polsce w celu poprawy struktury zużycia paliw datuje się od 2002 r.

Zgodnie z przepisami o ochronie środowiska i narzuconym ustawowo wymaganiem udziału energii odnawialnej w produkcji energii w odniesieniu do zakładów energetycznych, mieszanka węgla z biomasą jest traktowana jak paliwo ekologiczne. Stosownie do obowiązujących regulacji prawnych w zakresie

rozwoju wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii, w tym odnawialnych (Prawo energetyczne, Dz.U. 97.54.348), od 2002 roku zakłady energetyki przemysłowej w Polsce wdrażają współspalanie węgla z biomasą [11].

W niektórych instalacjach przemysłowych biomasę roślinną spalana jest samodzielnie. Ma to również zastosowanie w Elektrociepłowni w Kielcach, gdzie okresowo w sezonie pozagrzewczym, biomasę drzewną spala się w kotle OS-20. W wyniku spalania biomasy drzewnej powstaje produkt uboczny - popiół, który podobnie jak popiół z węgla kamiennego wymaga zagospodarowania, bądź zdeponowania na składowisku, zgodnie z wymogami ochrony środowiska.

Obecnie PGE Elektrociepłownia Kielce S.A. jest największym dostawcą energii cieplnej w Kielcach. W latach 2007/2008 spółka wybudowała blok kogeneracyjny o mocy docelowej 10,5 MW i sprawności powyżej 80%, oparty na spalaniu biomasy. Od tego czasu popiół z biomasy powstaje jako uciążliwy odpad bez możliwości jego zagospodarowania. Elektrociepłownia w Kielcach (dalej nazywana EC Kielce) posiada własne składowisko docelowe dla popiołów powęglowych, gdzie metodą moką składowane są popioły z kotłów węglowych. Jednak odpad popiołowy z biomasy jest tak odmienny pod względem fizyczno-chemicznym od popiołów powęglowych, że gromadzi się go selektywnie, nie odprowadzając na składowisko docelowe.

Przegląd aktualnego stanu wiedzy z zakresu możliwości wykorzystania popiołów w świetle potrzeb zgłaszanych przez Elektrociepłownię w Kielcach doprowadziły do ustaleń, że utylizację popiołów z biomasy można prowadzić na szereg różnych sposobów. W rolnictwie i ogrodnictwie popiół z biomasy może być stosowany jako nawóz [5, 14, 21]; w budownictwie drogowym [4]; w produkcji cementu [21, 30]; w produkcji betonu [12, 13]; w przemyśle ceramicznym [29]. Duża zawartość niespalonego węgla predestynuje go do wykorzystania jako taniego sorbentu [11].

Ponadto w literaturze można znaleźć doniesienia o próbach wykorzystania popiołów z biomasy w celu redukcji NO_x w emisji do atmosfery w procesach spalania [6] oraz w charakterze sorbentu zanieczyszczeń w wodach zanieczyszczonych [2, 20] z uwagi na znaczną zawartość bezpostaciowej krzemionki oraz niespalonego węgla [10].

Wykazano, że metoda sorpcji metali ciężkich na popiołach z biomasy może stanowić korzystną alternatywę dla tradycyjnych metod oczyszczania wód

zanieczyszczonych, zwłaszcza w przypadku ścieków zawierających metale w stężeniu poniżej 100 mg/l [1, 16, 25].

W części eksperymentalnej skoncentrowano się na możliwości wykorzystania popiołów z biomasy jako sorbentów zanieczyszczeń obecnych w ściekach komunalnych i odciekach składowiskowych.

Ściekami określa się wody zużyte w gospodarstwach domowych, obiektach komunalnych, w przemyśle i działalności gospodarczej oraz wody opadowe. Ścieki przemysłowe powstają w zakładach produkcyjnych i usługowych podczas różnych procesów technologicznych, a ich ilość i rodzaj zależy od przedsiębiorstwa oraz zastosowanej w nim technologii produkcji. Wyniki badań prowadzone na terenie wielu aglomeracji miejskich dowodzą, że bez względu na rodzaj kanalizacji oraz na sposób odprowadzania ścieków przemysłowych i bytowo-gospodarczych ścieki miejskie będą zawsze zawierały metale ciężkie [9].

Odcieki ze składowisk komunalnych charakteryzują się zróżnicowanym składem chemicznym. Oprócz substancji organicznych, obecne są w nich również metale ciężkie – zarówno w postaci wolnej, jak i związków chemicznych. W warstwie składowiska ulegają one przemianom chemicznym, prowadzącym do powstania innych połączeń, w tym również związków kompleksowych z kwasami fulwowymi i huminowymi. Powstanie tych związków jest szczególnie prawdopodobne na składowiskach ustabilizowanych, których odcieki zawierają znaczne ilości związków humusowych. Odcieki takie charakteryzują się dużym stosunkiem wartości ChZT do BZT_5 i są niepodatne na oczyszczanie biologiczne [14]. Do najważniejszych przyczyn trudności w opracowaniu wysokosprawnych metod oczyszczania odcieków należy zaliczyć występowanie w nich związków organicznych odpornych na biochemiczny rozkład oraz wysokie stężenia azotu.

Wcześniejsze badania wykazały dużą zdolność popiołu z biomasy drzewnej do sorpcji substancji organicznych, co zbadano z wykorzystaniem modelowego barwnika – błękitu metylenowego [26]. Obecnie prezentowane wyniki eksperymentu pozwalają ocenić zdolność popiołów z biomasy do usuwania biogenów oraz metali ciężkich znajdujących się w ściekach bytowych oraz w odciekach ze składowiska odpadów komunalnych.

2. Część eksperymentalna

Celem badań było określenie skuteczności usuwania związków biogenych oraz jonów metali ciężkich z rzeczywistych ścieków komunalnych i odcieków

ze składowiska odpadów komunalnych z wykorzystaniem popiołu z biomasy drzewnej jako sorbentu. Jako podstawę rozwiązania przyjęto trwałe wiązanie jonów metali ciężkich na sorbencie.

Przedmiotem badań jest popiół z biomasy pochodzący z Elektrociepłowni Kielce, powstający jako produkt uboczny w procesie spalania zrębków drzewnych pochodzenia leśnego i częściowo z wierzby energetycznej w kotle parowym OS-20. Kocioł OS-20 jest klasycznym kotłem walczkowym z naturalną cyrkulacją, składającym się z czterech pionowych ciągów. Temperatura nad rusztem w czasie pracy kotła utrzymuje się na poziomie 850°C.

Popiół z biomasy drzewnej tworzą frakcje pyłowe wychwytywane ze spalin w wysokosprawnych odpylaczach tkaninowych. Według katalogu odpadów popiół ten został zakwalifikowany do grupy o kodzie 10 01 03 – popioły lotne z torfu i drewna nie poddane obróbce chemicznej. Popiół charakteryzuje się odczynem zasadowym, stałą konsystencją, kolorem czarnym. Badany popiół pobierano z instalacji przemysłowej w stanie powietrzno-suchym. Pobór prób odbywał się zgodnie z normą PN-EN 450-1. Popiół poddano badaniom straty prażenia oraz wykonano analizę składu tlenkowego, mineralnego, jakościowego i ilościowego. Do oznaczenia ilościowego faz krystalicznych i określenia sumarycznej zawartości faz amorficznych wykorzystano metodę pomiaru z wykorzystaniem dyfraktometru rentgenowskiego z wprowadzonym wzorcem wewnętrznym – tabela 1.

Analizę rozkładu wielkości cząstek wykonano metodą dyfrakcji laserowej z zastosowaniem analizatora Mastersizer Microplus firmy Malvern. Pomiar wykonano w 0,1% roztworze pirofosforanu sodowego w warunkach recykulacji. W trakcie pomiarów stosowano ultradźwięki do rozbicia aglomeratów – czas stosowania ultradźwięków dobierano zależnie od czasu ponownej aglomeracji. Otrzymane wyniki tą metodą prezentuje rysunek 1.

Ocenę morfologii ziaren popiołu wykonano za pomocą mikroskopu skaningowego QUANTA FEG250. Badanie uziarnienia popiołu w celu określenia zawartości poszczególnych frakcji w popiele wykonano metodą sitową, z użyciem zestawu 6 sit o wymiarze oczek 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,05; 0,01 mm. Popiół przeznaczony do analizy sitowej wysuszono do stałej masy w temperaturze 105°C.

Ścieki przeznaczone do badań pobrano w miejskiej oczyszczalni ścieków w Sitkówce-Nowiny. Ocieki pobrano z komunalnego składowiska odpadów w Promniku, obsługującego aglomerację Kielc. Po-

bór prób ścieków i odcieków wykonano zgodnie z obowiązującymi normami PN-ISO 5667-10:1997, PN-EN ISO 5667-13:2004.

Analizę sorpcji metali ciężkich wykonano za pomocą spektrometru iCE 3000 C113500118 v1.30 w technice płomieniowej.

3. Wyniki badań

Jak wykazały badania składu elementarnego popiołu (tabela 1), w jego masie występują metale ciężkie. Zawartość kadmu występuje w stężeniach powyżej norm ustalonych dla osadów i odpadów kwalifikowanych do rolniczego wykorzystania wg. Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych [22]. Ponadto zawartość kadmu oraz ołowiu w badanej próbce popiołu przekracza dopuszczalną wartość powyższych zanieczyszczeń określonych dla nawozów wapniowych i wapniowo-nawozowych w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu [23].

Zatem, biorąc pod uwagę zawartość metali ciężkich w składzie chemicznym popiołu należy stwierdzić, że pomimo obecności składników biogennych (N,P,K) – przemawiających za przydatnością nawozową – nie może być on wykorzystywany w procesie odzysku metodą R10 – Rozprowadzanie na powierzchni ziemi [24].

Ilustrację wyników badań składu granulometrycznego prezentuje rysunek 1. Krzywe kumulacyjne składu ziarnowego podają zawartość w badanym materiale ziaren o średnicach mniejszych lub większych od wybranej średnicy ziaren. Pozwala także określić procentową zawartość poszczególnych frakcji. Obserwacje mikroskopowe morfologii ziaren popiołu wykazały obecność zróżnicowanych struktur, zarówno nieregularnych, jak i o kulistych kształtach – rysunek 2.

Ze względu na znaczne zróżnicowanie wielkości ziaren rozsortowano popiół w celu oddzielenia ziaren o różnej wielkości. W każdym przypadku sita badawczego obraz makroskopowy frakcji nadsitowej jest zdecydowanie różny od obrazu frakcji podsitowej. Potwierdzają to również obserwacje mikroskopowe (rys. 3).

Po rozsortowaniu popiołu na sitach, zbadano zdolność sorpcyjną każdej frakcji z osobna oraz popiołu nie poddanego rozsortowaniu. Do badań sorpcji wykorzystano roztwory o określonej koncentracji metali oraz naturalne wody zanieczyszczone: ścieki i ocieki ze składowiska. Na potrzeby badania przyjęto oznaczenia klasy ziarnowej popiołu z biomasy przedstawione w tabeli 2.

Usuwanie biogenów

Zarówno ścieki komunalne, jak i odcieki ze składowisk, charakteryzują się zróżnicowanym składem chemicznym. Oznaczenia zawartości wybranych wskaźników przedstawiono w tabeli 3.

Występowanie w wodach zanieczyszczonych wysokich stężeń azotu jest przyczyną trudności w opracowaniu wysokosprawnych metod ich oczyszczania. Związki azotu ulegają biochemicznym i fizykochemicznym przemianom, w wyniku których powstaje amoniak. Związek ten jest toksyczny dla żywych organizmów. Związki fosforu nie oddziałują toksycznie na organizmy wodne, ale ich obecność powoduje proces eutrofizacji wód. Ponieważ największe ilości związków biogenych trafiają do wód powierzchniowych ze zrzutów ścieków miejskich i przemysłowych, należy usuwać te związki w procesach oczyszczania ścieków [26]. Usuwanie związków amonowych ze ścieków metodami chemicznymi jest kosztowne, zaś zagospodarowanie powstających osadów bywa kłopotliwe. Inną drogą usuwania nieorganicznych związków azotu ze ścieków jest ich biologiczny rozkład [25].

Zdolności sorpcyjne popiołów z biomasy drzewnej wobec fosforanów obecnych w wodach zanieczyszczonych pokazano na rysunku 4. Z obserwacji wynika, że najlepszą sorpcję wykazują frakcje powyżej 0,1 mm w przypadku ścieków komunalnych, natomiast w odciekach fosforany sorbuje się najlepiej na frakcjach pomiędzy 0,1 a 1 mm. Najlepszą sorpcję azotanów obecnych w wodach zanieczyszczonych, zwłaszcza azotu amonowego, wykazano na frakcjach popiołu powyżej 0,5 mm.

Usuwanie metali

Do oceny zdolności sorpcyjnej popiołu z biomasy drzewnej względem jonów metali ciężkich przeprowadzono badanie wstępne za pomocą roztworów wzorcowych o określonej zawartości jonów Cu, Cd i Pb. Badanie wstępne miało na celu rozpoznanie skali sorpcji metali ciężkich w roztworach o zadanych koncentracjach metali. Na tym etapie badania polegały na wymieszaniu naważki popiołu (1 g) z odpowiednio przygotowanym roztworem w ilości 0,1 dm³. Próbkę wytrząsano przez 4 godziny, następnie przesączono na sączku średnim i badano za pomocą spektrometru absorpcji atomowej Perkin-Elmer 3100. Badanie sorpcji prowadzono w warunkach ciśnienia atmosferycznego, w temperaturze pokojowej.

Stężenie początkowe jonów Cu w roztworze wynosiło 1,136 ppm. Po kontakcie z poszczególnymi frak-

cjami popiołu w założonych warunkach stwierdzono, że najlepszy wynik uzyskano dla frakcji B_N100, czyli klasy uziarnienia popiołu 0,01–0,25 mm. Najślabszy efekt sorpcji charakteryzuje frakcję B_N500 z przedziału 0,50–1,00 mm.

Stężenie początkowe jonów Pb w roztworze wynosiło 31,145 ppm. Po kontakcie z poszczególnymi frakcjami popiołu w założonych warunkach stwierdzono, że najlepszy wynik uzyskano dla frakcji B_N100, czyli klasy uziarnienia popiołu 0,01–0,25 mm. Najślabszy efekt sorpcji charakteryzuje frakcję B_N1 z przedziału 1,00–2,00 mm.

Stężenie początkowe jonów Cd w roztworze wynosiło 4,595 ppm. Po kontakcie z poszczególnymi frakcjami popiołu w założonych warunkach stwierdzono, że najlepszy wynik uzyskano dla frakcji B_N1, czyli klasy uziarnienia popiołu 1,00–2,00 mm. Najślabszy efekt sorpcji charakteryzuje frakcję B0, czyli z klasy uziarnienia poniżej 0,01 mm.

W kolejnym etapie analizy zostały przeprowadzone na rzeczywistych ściekach komunalnych i odciekach składowiskowych, koncentrując się na Fe, jako reprezentancie metali. Ścieki poddane wytrząsaniu przez 4 godziny z popiołem poddano badaniu na spektrometrze.

Natomiast odcieki składowiskowe przed analizami rozcieńczono wodą destylowaną w stosunku 1:5. Badanie przeprowadzono na spektrometrze ICE 3500 w technice płomieniowej.

Największe zdolności sorpcyjne wobec żelaza wykazują frakcje drobne. Wyjaśnienia można szukać w dużej zawartości amorficznej krzemionki, która tworzy wiązania trwałe z jonami metali ciężkich. Reakcje takie możliwe są w szerokim zakresie temperatury i są trwałe. Uwarunkowane są jednak zmianami ciśnienia atmosferycznego oraz zmianami pH [3, 18]. W badanych ściekach i odciekach pH oscylowało na poziomie 7,9. Badania sorpcji prowadzono w temperaturze pokojowej i ciśnieniu atmosferycznym. Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono na rysunku 9.

W przypadku sorpcji żelaza ze ścieków najlepsze wyniki uzyskuje się przy frakcji B_N100 oraz B_N2, co odpowiada frakcjom popiołu 0,01–0,25 mm oraz powyżej 2 mm. Natomiast sorpcja żelaza z odcieków składowiskowych była wyższa dla drobniejszych frakcji popiołu. Takie zróżnicowanie podatności żelaza na sorpcję w zależności od charakteru wody zanieczyszczonej może wynikać z różnych form występowania tego metalu. W celu potwierdzenia tej hipotezy należy równolegle do badań sorpcji przeprowadzić analizę sekwencyjną metali (specjację).

Ponadto interpretacji zróżnicowania zdolności sorpcyjnych wysortowanych poszczególnych frakcji popiołu z biomasy należy szukać w morfologii ziaren, powierzchni właściwej, charakterystyce składu elementarnego, zawartości niespalonego węgla. Będzie to przedmiotem dalszych badań.

4. Wnioski

Zawartość substancji szkodliwych (metale ciężkie), w popiołach z biomasy drzewnej sprawia, że staje się zasadne poszukiwanie innych niż rolnicze sposobów jego zagospodarowania.

Na podstawie otrzymanych wyników badań stwierdzono:

- popiół z biomasy spalanej w EC Kielce nie może być wykorzystany w rolnictwie ze względu na ponadnormatywną zawartość metali ciężkich;
- badany popiół z biomasy charakteryzuje się dużymi zdolnościami sorpcyjnymi, wobec substancji organicznych – co wykazano wcześniej na modelowym barwniku (błękanie metylenowym), a w prezentowanym eksperymencie wykazano zdolność usuwania biogenów: fosforu i azotu;
- potwierdzono również zdolność sorpcji popiołów wobec metali ciężkich na przykładzie roztworów wzorcowych jonów miedzi i kadmu. Badania sorpcji jonów miedzi wykazały zdolność usuwania tego metalu w obecności wysortowanej frakcji drobnej z efektywnością ponad 99% i do 50% efektywność sorbowania jonów kadmu. Względem jonów ołowiu zdolność sorbowania popiołu jest znikoma;
- w celu poprawy zdolności sorpcyjnych popiołu z biomasy należy poddać rozsortowaniu na frakcje.

„Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Projektu „INWENCJA – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki” o numerze identyfikacyjnym WND-POKL 08.02.01-26-020/1”.

MARCIN PAWLAK

Kielce University of Technology
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce, Poland
e-mail: m.pawlak@tu.kielce.pl

MODELING OF BOOST DC/DC PULSE CONVERTER WITH REGARD OF CONDUCTION POWER LOSSES FOR CONTINUOUS CURRENT MODE

Abstract

Boost DC/DC pulse converter structure with regard to conduction power losses for Continuous Current Mode has been analyzed in the paper. Simplified model of converter which takes into account the nonlinearity of the static characteristic switches was used for theoretical analysis. The models of the transistor and diode whose static characteristic are modeled as in series connection ideal electronic switch, the constant voltage source and dynamic effective resistance have been used. The dynamic losses of powers occurring in the switching process of electronic switches were not captured in the work. The proposed model of the converter has the use in the case, when it works at low switching frequencies, when the losses of switching are considerably smaller than the losses of conductivity. This kind of model is useful, particularly in the case of the converter supplied the low voltage, when the voltages loss on electronic switches is significant. Analysis was performed for Continuous Current Mode (CCM) with voltage step up. Results of theoretical analysis have been presented and were verified by simulation. TCAD circuit simulator was used for simulation. Simulations confirm results of theoretical analysis.

Keywords: switching mode power converter, boost converter, energy efficiency, voltage gain

1. Introduction

The current work on the structures of impulse converters DC/DC focus mainly on issues such as obtaining high performance processing power with minimizing their size, high-quality output voltage being evident as a small ripple in its actual value and good dynamics involving the rapid tuning of the inverter system to new operating conditions [1]. Solving problems presented above requires formulating models of converters components that take into account physical phenomena occurring during the work of the inverter [3]. It becomes important to analyze all components of power losses [1].

The article uses a transistor and diode models [3] to determine the power losses occurring in the states of conduction. At this stage of work losses of dynamic connectors were not dealt with, thus solutions obtained are adequate for converters operating at a relatively low frequency.

2. Converter modeling with the power losses

In the process of conduction we may observe voltage dropping on electronic connectors that cause corresponding losses of power. Voltage drops can be described by their non-linear voltage-current

characteristics approximated in this work as linear sections including threshold voltage and finite incremental conductance [3]. This way of modeling allows for analytical solutions describing the work of the inverter circuit.

2.1. Converter equivalent circuit

The modeling assumes that:

- electronic connectors are modeled as a series connection of an ideal electronic switch, voltage source and the dynamic resistance;
- converter reactance elements are ideal without active electric power losses – magnetic coil resistances are zero, and capacitors show no leakage of charge;
- pulse converter system is dissipative, which means that the energy efficiency is smaller than unity;
- capacity occurring in the converter circuit (Figs. 1–3) are of such high value that stability of the voltage during PWM operation can be assumed, which gives possibility of replacing it with the voltage sources.

Figure 1 shows a schematic diagram of the voltage boost converter. The basis of its action is discussed in the papers [3–6].

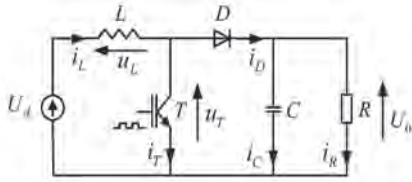


Fig.1. The structure of the boost converter

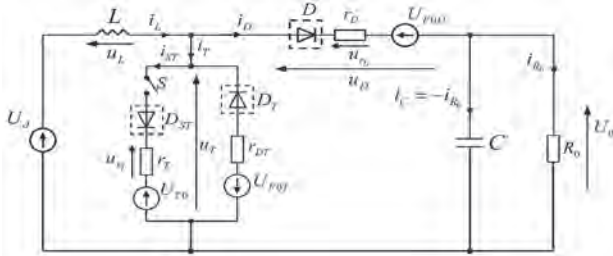


Fig. 2. Equivalent circuit diagram of the boost converter taking into account the nonlinearity of the static characteristic switches

The boost DC/DC converter equivalent circuit is shown in Figure 2. The adopted scheme takes into account the simplified nonlinearity of the static characteristics switches, such as transistor and diode. Diode symbol appearing in Figure 2 stands for an ideal diode [2, 4]. Figure 3 contains an alternate scheme corresponding to different states of the converter work operating on constant current mode of diode connector.

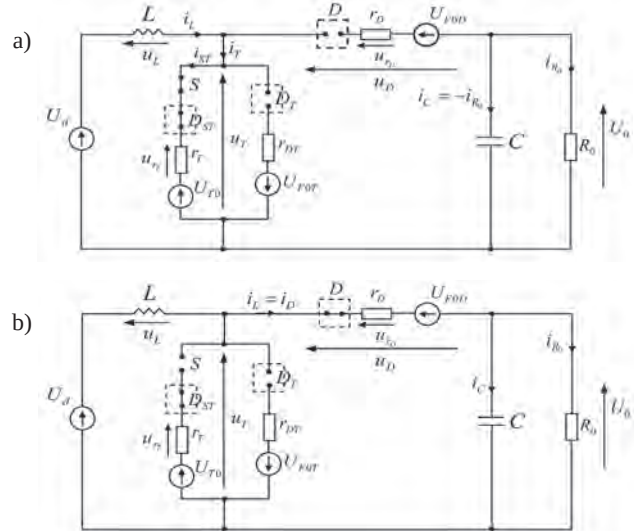


Fig. 3. Equivalent circuits corresponding to the boost converter operating modes

2.2. Description of the inverter in the time domain

Mathematica package and alternate diagrams of converter were used to prepare a mathematical model which is shown in Figure 3. The resulting mathematical description of the converter consists of a set of expressions presenting analytical form of instantaneous value voltage and currents of different components of the converter.

The parameter k present in the expressions states for PWM duty cycle and equals:

$$k = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} \cdot f \quad (1)$$

where: t_{on} – transistor switching time, $T = \frac{1}{f}$ – PWM period, f – PWM carrier frequency.

The course of the instantaneous value of the transistor current is described by the expression

$$i_T(t) = \begin{cases} \frac{1}{r_T} \cdot (U_d - U_{T0}) + \left(I_{Lmin} - \frac{1}{r_T} \cdot (U_d - U_{T0}) \right) \cdot e^{\frac{-t}{\tau_T}} & \text{for } kT \geq t \geq 0 \\ 0 & \text{for } T \geq t > kT \end{cases} \quad (2)$$

where: τ_T stands for the time constant of the series $r_p L$ and is:

$$\tau_T = \frac{L}{r_T} \quad (3)$$

The average values of current and voltage were calculated for the modulation period, assuming that there is a steady-state current and voltage of converter circuit.

The average current of the transistor can be determined from the formula:

$$I_T = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{kT} i_T(t) \cdot dt \quad (4)$$

The course of the instantaneous voltage of the transistor is expressed:

$$u_T(t) = \begin{cases} U_d + (I_{L\min} \cdot r_T - (U_d - U_{T0})) \cdot e^{\frac{-t}{\tau_T}} & \text{for } kT > t \geq 0 \\ U_d - (U_d - U_{F0D} - U_0 - I_{L\max} \cdot r_D) \cdot e^{\frac{-(t-kT)}{\tau_D}} & \text{for } T \geq t \geq kT \end{cases} \quad (5)$$

where: τ_D stands for the time constant of the series connection r_D , L and is:

$$\tau_D = \frac{L}{r_D} \quad (6)$$

The course of the instantaneous current of the diode describes the relationship:

$$i_D(t) = \begin{cases} 0 & \text{for } kT > t \geq 0 \\ \frac{1}{r_D} \cdot (U_d - U_{F0D} - U_0) + \left(I_{L\max} - \frac{1}{r_D} \cdot (U_d - U_{F0D} - U_0) \right) \cdot e^{\frac{-(t-kT)}{\tau_D}} & \text{for } T \geq t \geq kT \end{cases} \quad (7)$$

The average diode current can be calculated from the formula:

$$I_D = \frac{1}{T} \cdot \int_{kT}^T i_D(t) \cdot dt \quad (8)$$

The course of the instantaneous voltage across the diode describes the expression:

$$u_D(t) = \begin{cases} U_d - U_0 + (I_{L\min} \cdot r_T - (U_d - U_{T0})) \cdot e^{\frac{-t}{\tau_T}} & \text{for } kT > t \geq 0 \\ U_d - U_0 - (U_d - U_{F0D} - U_0 - I_{L\max} \cdot r_D) \cdot e^{\frac{-(t-kT)}{\tau_D}} & \text{for } T \geq t \geq kT \end{cases} \quad (9)$$

The course of the instantaneous inducing current value is determined by the relationship:

$$i_L(t) = \begin{cases} \frac{1}{r_T} \cdot (U_d - U_{T0}) + \left(I_{L\min} - \frac{1}{r_T} \cdot (U_d - U_{T0}) \right) \cdot e^{\frac{-t}{\tau_T}} & \text{for } kT \geq t \geq 0 \\ \frac{1}{r_D} \cdot (U_d - U_{F0D} - U_0) + \left(I_{L\max} - \frac{1}{r_D} \cdot (U_d - U_{F0D} - U_0) \right) \cdot e^{\frac{-(t-kT)}{\tau_D}} & \text{for } T \geq t > kT \end{cases} \quad (10)$$

The average inducing current can be calculated from the formula:

$$I_L = I_T + I_D \quad (11)$$

The course of the instantaneous voltage across the inductance is:

$$u_L(t) = \begin{cases} (U_d - U_{T0} - I_{L\min} \cdot r_T) \cdot e^{\frac{-t}{\tau_T}} & \text{for } kT > t \geq 0 \\ (U_d - U_{F0D} - U_0 - I_{L\max} \cdot r_D) \cdot e^{\frac{-(t-kT)}{\tau_D}} & \text{for } T \geq t \geq kT \end{cases} \quad (12)$$

The average inducing voltage can be obtained from the relationship:

$$U_L = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u_L(t) \cdot dt = 0 \quad (13)$$

The maximum value of inducing current can be determined comparing the average value of diode current to the average value of load current, ie:

$$I_D = \frac{U_0}{R} \quad (14)$$

and equals:

$$I_{L\max} = \frac{\left(L \cdot \left(1 - e^{-\frac{(1-k) \cdot T}{\tau_D}} \right) - (1-k) \cdot T \cdot r_D \right) \cdot (U_d - U_{F0D} - U_0)}{r_D^2} + \frac{U_0 \cdot T}{R_0} \quad (15)$$

$$\tau_D \cdot \left(1 - e^{-\frac{(1-k) \cdot T}{\tau_D}} \right)$$

The minimum value of the inductor current is:

$$I_{L\min} = \frac{T \cdot r_D^2 \cdot \frac{U_0}{R_0} \cdot e^{-\frac{(1-k) \cdot T}{\tau_D}} + \left(\left(1 - e^{-\frac{(1-k) \cdot T}{\tau_D}} \right) \cdot L - (1-k) \cdot T \cdot r_D \cdot e^{-\frac{(1-k) \cdot T}{\tau_D}} \right) \cdot (U_d - U_{F0D} - U_0)}{\left(1 - e^{-\frac{(1-k) \cdot T}{\tau_D}} \right) \cdot L \cdot r_D} \quad (16)$$

The average value of the input current, equal to the average inductor current is:

$$I_d \cong I_L = \frac{\left(1 - e^{-\frac{(1-k) \cdot T}{\tau_D}} \right) \cdot L \cdot r_D \cdot I_{L\max} + \left((1-k) \cdot r_D \cdot T - \left(1 - e^{-\frac{(1-k) \cdot T}{\tau_D}} \right) \cdot L \right) \cdot (U_d - U_{F0D} - U_0)}{T \cdot r_D^2} +$$

$$+ \frac{\left(L + (k \cdot T \cdot r_T - L) \cdot e^{\frac{k \cdot T}{\tau_T}} \right) \cdot (U_d - U_{T0}) - \left(1 - e^{\frac{k \cdot T}{\tau_T}} \right) \cdot L \cdot r_T \cdot I_{L\min}}{T \cdot r_T^2} \cdot e^{-\frac{k \cdot T}{\tau_T}} \quad (17)$$

The average value of output voltage U_0 can be calculated from the formula:

$$\int_0^{kT} u_L(t) \cdot dt = - \int_{kT}^T u_L(t) \cdot dt \quad (18)$$

The average input power can be calculated as:

$$P_d = U_d \cdot I_L \quad (19)$$

and the average output power, as follows:

$$P_0 = U_0 \cdot I_0 = \frac{U_0^2}{R_0} \quad (20)$$

Using equations (19) and (20) the converter efficiency can be determined according to the relation:

$$\eta = \frac{P_0}{P_d} \quad (21)$$

In order to verify the correctness of the converter model the test was carried out, in which it was assumed that the voltage sources modeling drops in voltage for electronic conductors are zero, and the dynamic resistance tends to zero. Analytical relationships describing the voltage and current of the converter were found to be similar to those obtained from the converter with ideal electronic connectors presented in [3–6].

Figure 4 shows time patterns of the transistor voltage, diode voltage and the inducing current voltage, for constant current diode connector obtained from the formulated analytical relationships. It was assumed that the duty factor of PWM wave is $k = 0.4$.

The parameters of the converter:

$$U_d = 15 \text{ V}, U_{FOD} = 0.7 \text{ V}, U_{TO} = 0 \text{ V}, \\ R_0 = 6 \text{ } \Omega, f = 10 \text{ kHz}, L = 50 \text{ } \mu\text{H}, r_D = r_T = 0.1 \text{ } \Omega$$

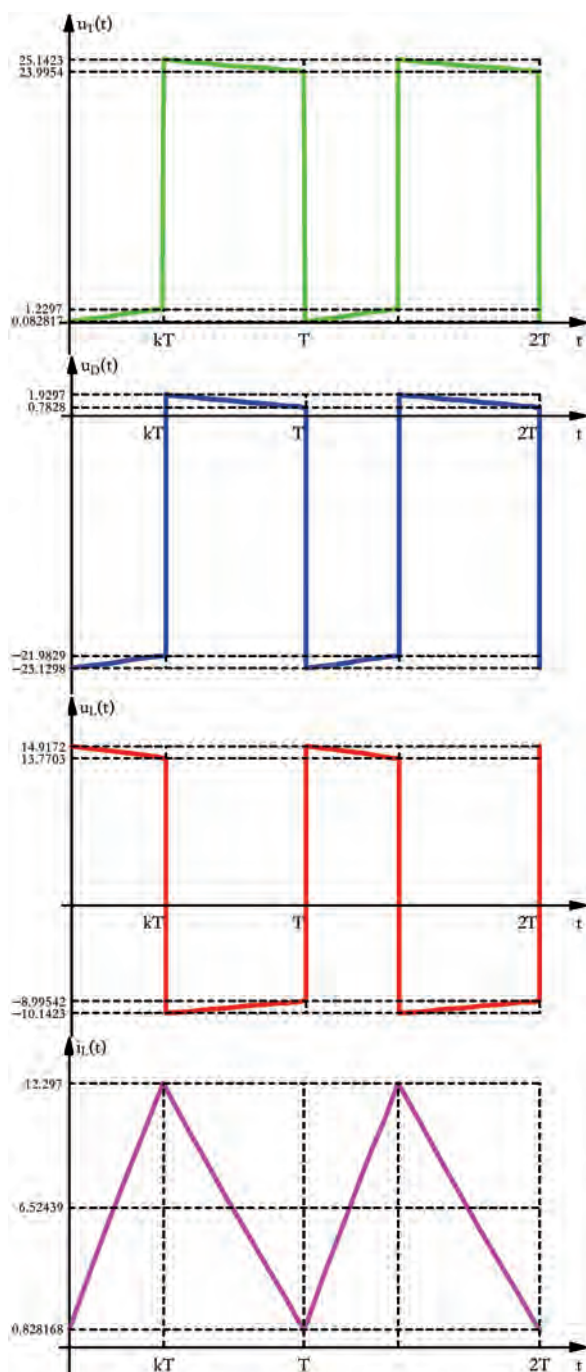


Fig. 4. Voltage and current waveforms for the case of continuous diode current at the mode of voltage step up

2.3. Conduction power losses

In order to determine the conduction power losses occurring in electronic connectors and their impact on the energy conversion efficiency and to determine the effective range of increasing the output voltage

there are given the characteristics depending on duty factor PWM for the converter working CCM with parameters like in previous section.

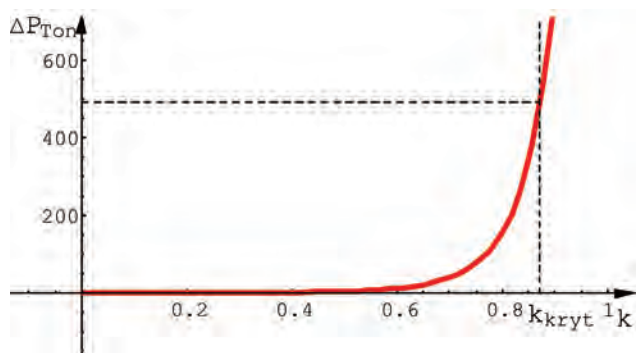


Fig. 5. Conduction power losses of the transistor vs. wave PWM duty factor

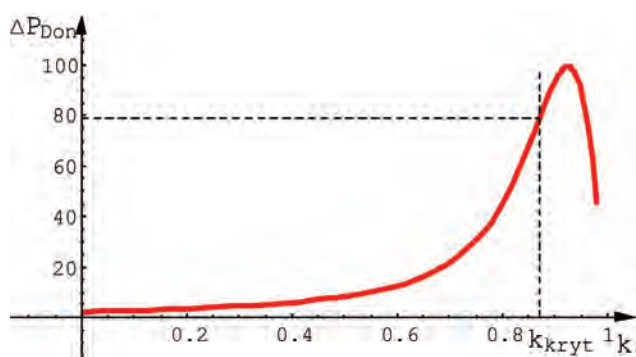


Fig. 6. Conduction power losses of the diode vs. wave PWM duty factor

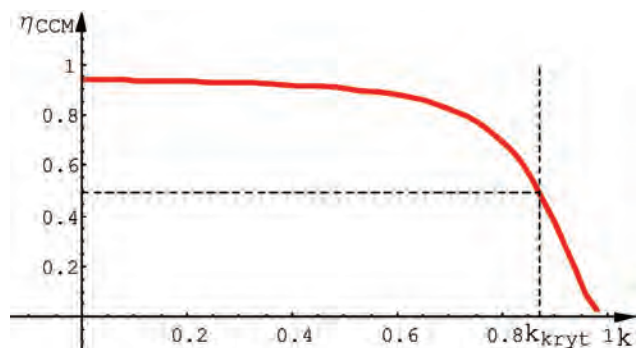


Fig. 7. Boost converter efficiency vs. wave PWM duty factor

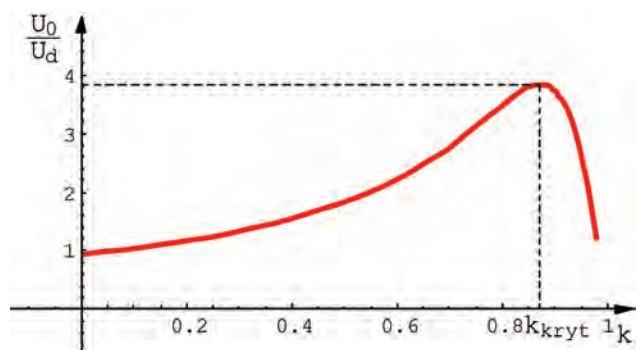


Fig. 8. Voltage step up ratio vs. wave PWM duty factor

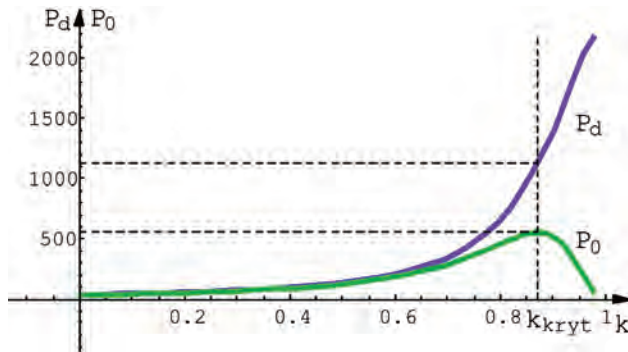


Fig. 9. Average values of input and output power vs. wave PWM duty factor

Figures 5 and 6 illustrate the conduction power losses in the transistor switch and diode. Figure 7 shows the changes in efficiency of the boost converter. Figure 8 shows the change of the voltage step up ratio and Figure 9 shows the changes in the average of input and output power of the inverter. Figure 10 shows the minimum and maximum value of continuous inductance current.

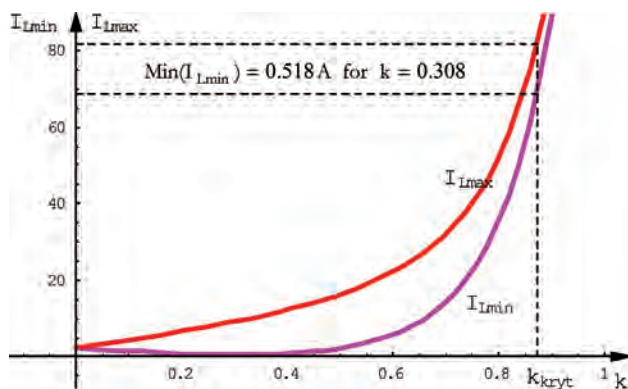


Fig. 10. Minimum and maximum values of inductance current vs. wave PWM duty factor

The characteristics received prove that the high duty cycle of PWM shows very rapid growth in the loss of the conduction power, which is manifested by a marked decreasing in the efficiency of energy conversion by the converter. Further increasing PWM duty cycle causes a decrease in the average value of output voltage. Thus, the maximum value of voltage step up ratio determines its critical value k_{kryt} . Using the converter with higher voltage step up ratio than the critical value is unjustified. The characterization and analysis make the criteria for the converter design.

3. The simulation studies

The mathematical model of the converter was verified with simulations made using TCAD.

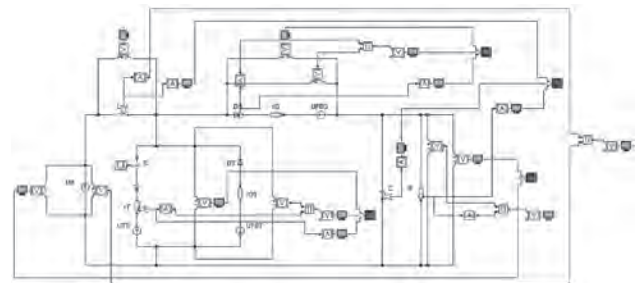


Fig. 11. Simulation diagram of boost converter

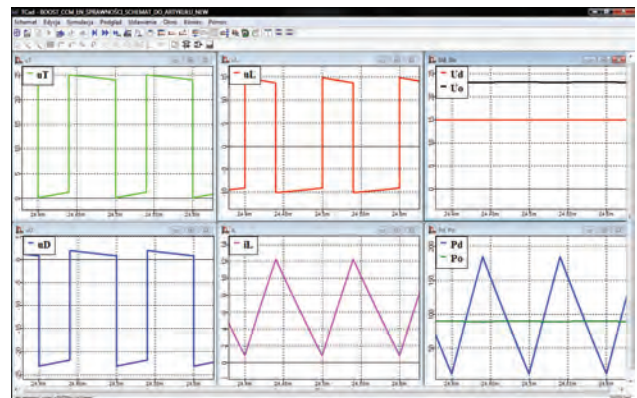


Fig. 12. Voltage and current waveforms for the case of continuous diode current at the mode of voltage step up

Figure 11 show the schematic simulation of the boost converter considered in the article. Simulation was perform for converter parameters like section 2.2. Value of the output capacitor was assigned as $C = 1000 \mu\text{F}$. Voltage and current waveforms, as shown in Figure 12 and obtained from the simulation shown in Figure 11 confirm the correctness of the mathematical analysis.

4. Conclusions

Developed mathematical relations allow to designate a set of critical values for PWM duty cycle on the basis of the assumed parameters of electronic connectors in terms of: a critical values of power loss in semiconductor switches, the minimum value of energy efficiency and critical value of increasing voltage. On the other hand, they allow to design a converter when taking into consideration conduction losses. You can, therefore, assume that they are the basis for optimizing the choice of electronic connectors used in the converter.

References

- [1] Citko T., *Energoelektronika – Układy wysokiej częstotliwości (Power Electronics-High Frequency Systems)*. WPB, Białystok 2007.
- [2] Marciniak W., *Modele elementów półprzewodnikowych (Models of semiconductor elements)*. WNT, Warszawa 1985.

- [3] Nowak M., Barlik R., *Poradnik inżyniera energoelektronika (Guidebook for power electronics engineers)*. WNT, Warszawa 1998.
- [4] Pawlak M., *Modelowanie i analiza impulsowych przekształtników DC/DC – przekształtnik obniżający i podwyższający napięcie (Modeling and analysis of buck-boost DC/DC pulse converter)*. WNITE – PIB, Radom 2010, pp. 264–273.
- [5] Tunia H., Barlik R., *Energoelektronika (Power Electronics)*. WNT, Warszawa 1994.
- [6] Tunia H., Barlik R., *Teoria przekształtników (Theory of converters)*. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2003.

The research was co-financed by the European Social Fund within the project “Invention - the potential of young researchers and knowledge/innovation transfer as support to key areas of the economy of Świętokrzyskie Province, identification number WND-POKL 08.02.01-26-020/1”

Marcin Pawlak

Modelowanie przetwornicy DC/DC podwyższającej napięcie z uwzględnieniem strat mocy przewodzenia przy ciągłym prądzie łącznika diodowego

1. Wstęp

Obecne prace nad strukturami przekształtników impulsowych DC/DC koncentrują się w głównej mierze na zagadnieniach uzyskania: wysokiej sprawności przetwarzania energii elektrycznej, minimalizacji ich gabarytów, wysokiej jakości napięcia wyjściowego objawiającego się małymi tętnieniami jego wartości chwilowej i dobrej dynamiki polegającej na szybkim dostrojeniu się układu przetwornicy do nowych warunków pracy [1]. Rozwiązywanie postawionych problemów wymaga opracowania modeli elementów składowych przetwornic pozwalających uwzględnić zjawiska fizyczne występujące w trakcie działania przetwornicy [3]. Istotne staje się przeanalizowanie wszystkich składników strat mocy [1].

W artykule wykorzystano modele tranzystora i diody [3] umożliwiające określenie strat mocy występujących w stanach ich przewodzenia. Na obecnym etapie pracy nie ujęto strat dynamicznych łączników, stąd otrzymane rozwiązania są adekwatne dla przetwornic pracujących przy relatywnie niskiej częstotliwości.

2. Modelowanie przetwornicy z uwzględnieniem strat mocy przewodzenia

Na rzeczywistych łącznikach elektronicznych w trakcie ich przewodzenia występują spadki napięcia, które są przyczyną odpowiadających im strat mocy. Spadki napięć opisują ich nieliniowe charakterystyki napięciowo-prądowe, które w pracy aprok-

symowano odcinkami liniowymi z uwzględnieniem napięcia progowego i skończonej konduktancji przyrostowej [3]. Przyjęty sposób modelowania pozwala uzyskać rozwiązania analityczne opisujące działanie obwodów przetwornicy.

2.1. Układ zastępczy przetwornicy

W modelowaniu założono, że:

- łączniki elektroniczne modelowane są, jako szeregowo połączenie idealnego łącznika elektronicznego, źródła napięcia stałego i rezystancji dynamicznej;
- elementy reaktancyjne przetwornicy są idealne: nie występują w nich straty mocy czynnej elektrycznej – rezystancje cewek magnetycznych są zerowe, a kondensatory nie wykazują upływności ładunku;
- przetwornica impulsowa jest układem strątnym, co oznacza, że współczynnik sprawności energetycznej jest mniejszy od jedności;
- pojemności występujące w obwodach przetwornicy (rys. 1–3) mają na tyle duże wartości, że można założyć stałość ich napięć w okresie modulacji PWM, co pozwala na zastąpienie ich źródłami napięciowymi.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat ideowy przetwornicy podwyższającej napięcie. Podstawy jej działania zostały omówione w pracach [3–6].

Układ zastępczy przetwornicy DC/DC podwyższającej napięcie pokazano na rysunku 2. Przyjęty schemat uwzględnia w uproszczony sposób nieliniowości

charakterystyk statycznych łączników elektronicznych, tj. tranzystora i diody. Symbol diody występujący na rysunku 2 oznacza diodę idealną [2, 4]. Na rysunku 3 zamieszczono schematy zastępcze odpowiadające poszczególnym stanom pracy omawianej przetwornicy, pracującej w trybie z ciągłym prądem łącznika diodowego.

2.2. Opis działania przekształtnika w dziedzinie czasu

W opracowaniu modelu matematycznego wykorzystano pakiet Mathematica oraz schematy zastępcze przekształtnika przedstawiono na rysunku 3. Otrzymany opis matematyczny przekształtnika składa się z zestawu wyrażeń, które podają postać analityczną przebiegów wartości chwilowych napięcia i prądów poszczególnych elementów przetwornicy.

Parametr k występujący w wyrażeniach oznacza współczynnik wypełnienia fali PWM i jest określony wzorem (1). Przebieg wartości chwilowej prądu tranzystora opisuje wyrażenie (2).

Wartości średnie prądów i napięć obliczono za okres modulacji przy założeniu, że występuje stan ustalony prądów i napięć obwodów przetwornicy. Wartość średnią prądu tranzystora można wyznaczyć z zależności (4), a przebieg wartości chwilowej napięcia na tranzystorze ze wzoru (5). Przebieg wartości chwilowej prądu diody opisuje zależność (7). Wartość średnią prądu diody można wyliczyć ze wzoru (8). Przebieg wartości chwilowej napięcia na diodzie opisuje wyrażenie (9). Przebieg wartości chwilowej prądu indukcyjności określa zależność (10). Wartość średnią prądu indukcyjności można wyznaczyć z zależności (11), a przebieg wartości chwilowej napięcia na indukcyjności określa (12). Wartość średnią napięcia indukcyjności można otrzymać z zależności (13). Podczas gdy maksymalną wartość prądu indukcyjności można wyznaczyć z przyrównania wartości średniej prądu diody z wartością średnią prądu obciążenia. Minimalna wartość prądu cewki można wyznaczyć ze wzoru (16), a wartość średnią prądu źródła równą wartości średniej prądu cewki z (17). Wartość średnią napięcia wyjściowego U_0 można wyliczyć z zależności (18). Wartość średnią mocy wejściowej można wyznaczyć z (19), zaś wartość średnią mocy wyjściowej z (20). Wykorzystując zależności (19) i (20) można wyznaczyć współczynnik sprawności przekształtnika zgodnie z zależnością (21).

W celu weryfikacji poprawności opracowanego modelu przetwornicy przeprowadzono test, w którym przyjęto, że źródła napięć modelujące spadki napięć na przewodzących łącznikach elektronicznych są ze-

rowe, zaś ich rezystancje dynamiczne dążą do zera. Związki analityczne opisujące napięcia i prądy przekształtnika okazały się być zbieżne do otrzymanych dla przypadku przekształtnika z idealnymi łącznikami elektronicznymi przedstawionymi w pracach [3–6].

Rysunek 4 prezentuje przebiegi czasowe napięcia tranzystora, napięcia diody oraz napięcia i prądu indukcyjności, dla przypadku ciągłego prądu łącznika diodowego uzyskane na podstawie opracowanych związków analitycznych. Założono, że współczynnik wypełnienia fali PWM wynosi $k = 0,4$.

2.3. Straty mocy przewodzenia

W celu wyznaczenia strat mocy przewodzenia występujących w łącznikach elektronicznych i ich wpływu na sprawność przetwarzania energii elektrycznej oraz określenia efektywnego zakresu podwyższania napięcia wyjściowego, podano charakterystyki zależne od współczynnika wypełnienia fali PWM dla parametrów przekształtnika jak w rozdziale poprzednim pracującego w trybie CCM.

Rysunki 5 i 6 ilustrują odpowiednio straty mocy czynnej w łączniku tranzystorowym i diodowym. Na rysunku 7 prezentowane są zmiany współczynnika sprawności przetwornicy. Rysunek 8 przedstawia zmiany współczynnika podwyższania napięcia wyjściowego zaś rysunek 9 obrazuje zmiany wartości średniej mocy wejściowej i wyjściowej w przekształtniku. Rysunek 10 obrazuje wartości minimalną i maksymalną ciągłego prądu indukcyjności.

Z otrzymanych charakterystyk wynika, że dla wysokich wartości współczynnika wypełnienia fali PWM widoczny jest bardzo szybki wzrost strat mocy przewodzenia, który objawia się wyraźnym spadkiem współczynnika sprawności przetwarzania energii przez przetwornicę. Dalsze zwiększanie współczynnika wypełnienia fali PWM powoduje spadek wartości średniej napięcia wyjściowego. Zatem maksimum funkcji współczynnika podwyższania napięcia wyjściowego określa jego wartość krytyczną. Sterowanie przetwornicy przy współczynniku wypełnienia większym od krytycznego jest nieuzasadnione. Przedstawione charakterystyki oraz ich analiza stanowią kryterium do projektowania przetwornicy.

3. Badania symulacyjne

Opracowany model matematyczny przetwornicy został zweryfikowany symulacjami wykonanymi przy użyciu symulatora TCAD. Rysunek 11 przedstawia schemat symulacyjny rozważanej przetwornicy. Do symulacji przyjęto parametry przetwornicy z rozdziału 2.2 oraz dodatkowo założono, iż pojemność $C = 1000 \mu\text{F}$.

Przebiegi napięcia i prądu, przedstawione na rysunku 12 uzyskane w wyniku symulacji układu pokazanego na rysunku 11 potwierdzają poprawność przeprowadzonej analizy matematycznej.

4. Wnioski

Opracowane zależności matematyczne pozwalają z jednej strony wyznaczyć zestaw wartości krytycznych wielkości współczynnika wypełnienia fali PWM dla przyjętych parametrów łączników elektronicznych ze względu na: krytyczne wartości strat mocy łączników półprzewodnikowych, minimalną dopuszczalną wartość współczynnika sprawności energetycznej oraz krytyczną wartość współczynnika podwyższania napięcia. Z drugiej zaś strony umożliwiają zaprojektowanie praktyczne przetwornicy uwzględniając straty mocy przewodzenia. Można zatem przyjąć, iż stanowią one podstawę do optymalizacji doboru łączników elektronicznych przetwornicy.

„Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Projektu „INWENCJA – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki” o numerze identyfikacyjnym WND-POKL 08.02.01-26-020/1”.

MARIOLA STARZOMSKA

Kielce University of Technology
Faculty of Civil and Environmental Engineering
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce, Poland
e-mail: rav4ms@wp.pl

A SET OF WHEEL WATER TURBINE WITH THE CURRENT STEERING – A MATHEMATICAL TORQUE MODEL

Abstract

This paper presents the idea of the wheel water turbine with an innovative current steering, due to its structure, operation principle and innovative way to use the energy of flowing water. This device meets the prevailing trends in the energy and water authorities issuing environmental decisions and preferred low-speed and low-falling turbine to minimize the impact on the ecosystem. The use of the described solution allows for the effective gain of the energy from watercourses that are economically unviable or impossible for technical reasons of the use of conventional turbines. The described device is the water turbine with a vertical axis rotor and planetary motion blades. They were also the power and torque of the rotor designated for the heptagonal solution based on the component of the relative velocity of water moving towards the rotor blades.

Keywords: water turbine, the rotor of the vertical axis of rotation, torque

1. Introduction

Polish energy water resources are not too impressive, the theoretical value is calculated in the 60's, based on the methodology of the World Energy Council. The average energy year is amounted to about 23 TWh/year ($1 \text{ TWh} = 10^9 \text{ kWh}$). Technical energy resources all flowing waters have been identified by A. Hoffman and M. Hoffman and J. Tyminski at about 12 TWh/year, including small hydro technical resources (water bodies to 5 MW) are approximately 2 TWh/year [1].

Hydropower potential in Poland is only used in 16–19% [2], which puts us in the tail of Europe, where the average use of hydropower potential is about 50%, and in many countries up to 70%.

Traditional methods involve the use of water power for the construction of costly water stagnations usually having a huge impact on the environment. Issuing authorities of the environmental decision are looking at this type of structures with the hostile eye preferring the use of low-falling and low-speed turbines to minimize impacts on the ecosystem and such a device is the described turbine.

In the Holy Cross region, there are no natural conditions conducive to the construction of conventional hydropower (river of small dips and depths), so the

research carried out at the Technical University of Kielce focused mainly on the use of the kinetic energy contained in flowing water regardless of the nature of the watercourse.

2. A set of wheel water turbine with the current steering

2.1. Description of the device

The alternative to the conventional turbines is the solution of wheel water turbine with the current steering described in [3]. The test turbine is an innovative solution, equipped with a rotary impeller with the vertical axis and the planetary movement of the blades. It has a boom in the form of a frame that is attached to the bearing-supported cylinder shaft embedded in the river. On each arm at least one blade that rotates by an angle of 180° is mounted, the corresponding location of the axis of rotation of the blade allows the boom, after the end of the working movement, to set the blade freely to the stream direction. Booms are in the form of a frames formed of the elements fixed to the cylinder and transverse longitudinal clamping elements, which also provide support for the free ends of the blades. Suitable positioning of the transverse elements relatively to the axis of blades rotation allows for the increased torque on the individual blades and also facilitates the earlier rotation.

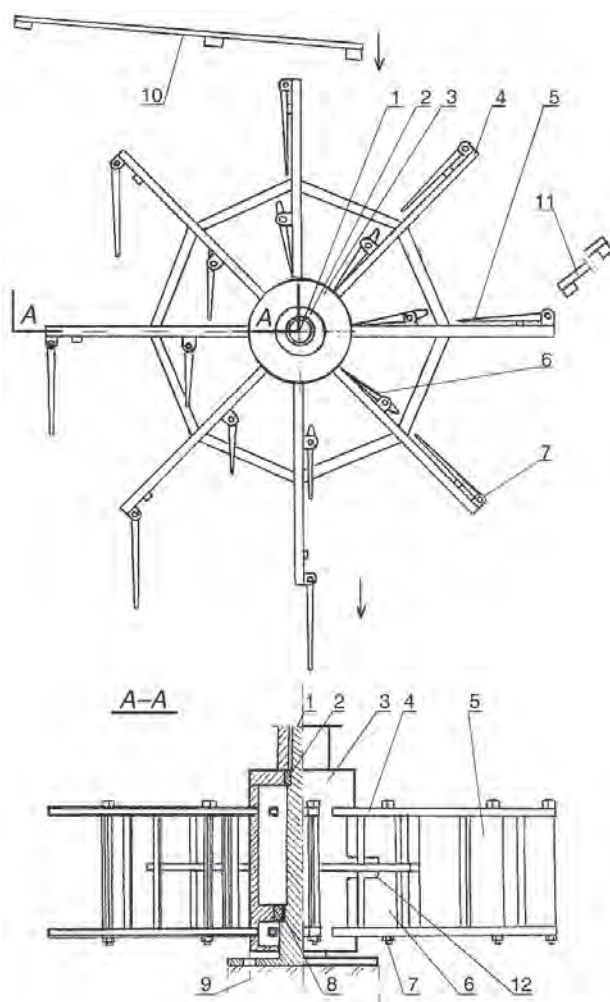


Fig. 1. Schematic cross-section and axial turbine rotor assembly of the wheel water turbine with the current steering: 1 – shaft set on a foundation, 2, 8 – bearings, 3 – a rotating cylinder mounted on bearings 2 and 8, 4 – arms in the form of frames, created from two longitudinal elements instructed the cylinder 3, 4a – transverse axial coupling elements booms 4, which are support for the free blades 5 and 6, 5, 6 – blades mounted rotationally, 7 – hinges on which the blades are mounted to the arm 4, 12 – chosen room for switches of the blades during rotation 6 of the boom 4

2.2. Operation

Stream of water pushed on the blade causes the rotation of the turbine, the working traffic under the blade support arms, and after it gets closer to the lower stream they rotate in 180° . From this point traverse barren, opposite to the direction of the current, and the blades are free to set the direction of the current. In the upstream, starting with the working movement, the blades are arranged on the transverse strut elements remaining in the base position of the lower stream while they rotate for the pivot arm at 180° , as shown in Figure 2.

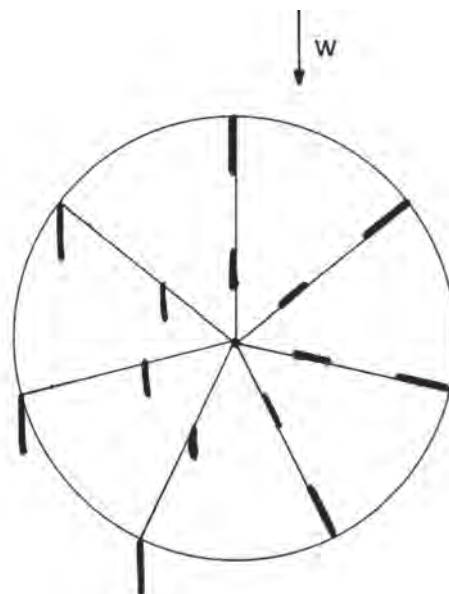


Fig. 2. Setting the rotor blades during turbine operation

Before the turbine, from the side of the water flow, the valve drive is installed.

3. Torque and power calculation

To calculate the power as a function of flow velocity and the rotation speed of the rotor the stream velocity components are specified relatively to the moving rotor blades and then the rotor torque was set with one shovel and torque to the rotor for which the model was built.

In order to determine the relative velocity of the turbine blade the turbine blades draft was drawn moving at an angle α . As a starting point adopted the point where the blade begins working.

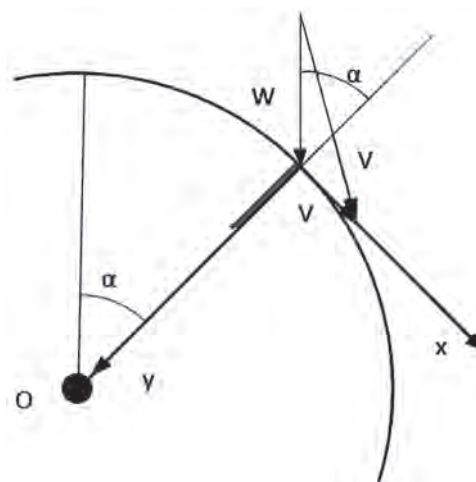


Fig. 3. Scheme of the turbine rotor blades in motion by an angle α

Calculation of the relative velocity of the water for a turbine blade.

Notations:

W – water velocity m/s

V_0 – rotor speed m/s

V – relative velocity m/s

α – angle of rotation of the rotor

As shown in Figure 3, showing the distribution of speed for a shovel, the relative velocity of the water we get from the formula:

$$\bar{V} = \bar{W} + \bar{V}_0 \quad (1)$$

The water velocity W is written as the moving components in the moving system associated with a turbine shovel x - y

$$W_x = W \sin \alpha \quad (2)$$

$$W_y = W \cos \alpha \quad (3)$$

The rotor speed V_0 :

$$V_{0x} = V_0 \quad (4)$$

$$V_{0y} = 0 \quad (5)$$

V velocity components relative to the moving system associated with a shovel

$$V_x = W \sin \alpha + V_0 \quad (6)$$

$$V_y = W \cos \alpha \quad (7)$$

Thus, the final formula for the value of the water relative velocity:

$$V^2 = W^2 + V_0^2 + 2WV_0 \sin \alpha \quad (8)$$

$$V = \sqrt{W^2 + V_0^2 + 2WV_0 \sin \alpha} \quad (9)$$

Turbine driving torque for a rotor blade.

Blades made in the model of the turbine are flat patches, so on the whole surface the stress N works on the arm R . When using a different blade shape we can get the effect of causing aerodynamic forces N favorably to the rotation axis of the rotor causing power increase.

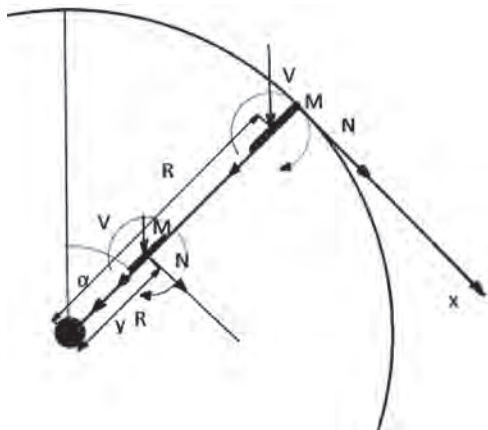


Fig. 4. Scheme of the forces acting on the turbine blades in motion by an angle α (for one arm)

As shown in Figure 4 on the turbine blade there is force N , therefore torque for a shovel is as follows:

$$M_{ax} = 0.5k_x(\alpha)(V_x(\alpha))^2 RA\rho \quad (10)$$

$$M = \int_0^\pi M_{ax}(\alpha) d\alpha = \int_0^\pi k_x(\alpha)(V_x(\alpha))^2 AR\rho d\alpha \quad (11)$$

where: A – area of blades [m^2], $k_x(\alpha, W)$ – hydrodynamic coefficient depends on water relative velocity to the blade, as well as the angle of rotation of the rotor. In order to calculate the value of the coefficient model tests are necessary.

Range of integration was defined as $0-\pi$, π as the set- 2π blades are free to move toward the mainstream performing barren movement.

Because the work area (due to the construction and operation of the turbine model test), covering the range $0-\pi$ can also be found up to four blades, the resultant total time for the test turbine model is:

$$M = \int_0^\pi M_{ax}(\alpha) d\alpha \quad (12)$$

$$M_{ax} = M_{11ax} + M_{12ax} + M_{13ax} + M_{14ax} + M_{21ax} + M_{22ax} + M_{23ax} + M_{24ax} \quad (13)$$

where:

$$M_{11ax} = 0.5k_x(\alpha)(V_x(\alpha))^2 R_1 A_1 \rho$$

$$M_{12ax} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{2\pi}{7}\right)\left(V_x\left(\alpha + \frac{2\pi}{7}\right)\right)^2 R_1 A_1 \rho$$

$$M_{13ax} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{4\pi}{7}\right)\left(V_x\left(\alpha + \frac{4\pi}{7}\right)\right)^2 R_1 A_1 \rho$$

$$M_{14ax} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{6\pi}{7}\right)\left(V_x\left(\alpha + \frac{6\pi}{7}\right)\right)^2 R_1 A_1 \rho$$

$$M_{21ax} = 0.5k_x(\alpha)(V_{2x}(\alpha))^2 R_2 A_2 \rho$$

$$M_{22ax} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{2\pi}{7}\right)\left(V_{2x}\left(\alpha + \frac{2\pi}{7}\right)\right)^2 R_2 A_2 \rho$$

$$M_{23ax} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{4\pi}{7}\right)\left(V_{2x}\left(\alpha + \frac{4\pi}{7}\right)\right)^2 R_2 A_2 \rho$$

$$M_{24ax} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{6\pi}{7}\right)\left(V_{2x}\left(\alpha + \frac{6\pi}{7}\right)\right)^2 R_2 A_2 \rho$$

$$V_{2x}(\alpha) = W \sin \alpha + V_0 \frac{R_2}{R_1}$$

R_1 – frame of force in the first row of blades

R_2 – frame of force of the second row of blades

A_1 – the area of the blades in the first row

A_2 – the area of the blades in the second row

P – water density kg/m^3

A resulting power W :

$$N = M \frac{V_0}{R} \quad (14)$$

4. Conclusion

A set of water turbine with the stream steering is an innovative solution filed for patent protection for the name “water turbine set and steering mainstream” by Stanisław Szewczyk, Zbigniew Jerzy Piotrowski, on 27.09.2011 under number 396452 A1.

This device meets the preferences prevailing in the hydro power, allows the use of mainstream rivers with shallow depths, is made up of connected sections and directing system and increasing the speed of the water stream directed on the turbine. It works without having to build costly water accumulations and passes almost without interfering with the natural environment.

Defined above depending allowed to verify the previously planned laboratory research program that is expanding its range under the designation of the test turbine as a function of flow velocity and rotation velocity by the calculation of the hydrodynamic

coefficients as a function of water velocity relative to the blade and the rotor moving angle.

References

- [1] Hoffman M.: *Prognozy rozwoju energetyki wodnej w Europie i Polsce*, IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Mała Energetyka-97” Zakopane Kościelisko.
- [2] Szlęzak R.: Śmiała wizja rozwoju, Biuletyn TRMEW-16/2011 IV Kwartał, Wydawnictwo Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych, 2011, 10–11.
- [3] Szewczyk S., Piotrowski J.Z.: *Zestaw turbiny wodnej i kierownicy nurtu* zgłoszenie do Urzędu Patentowego w dniu 27.09.2011 pod numerem A1 396452.
- [4] Augustyn M., Ryś J.: *Kinematyka i moment napędowy turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu*, Czasopismo Techniczne, z. 1-M/2007, Wydawnictwo PK, Kraków 2007, 3–17.
- [5] Starzomska M., Piotrowski J.Z.: *Testing a prototype for an innovative water turbine*, Transcom 2011, University of Žyliná, Slovak Republic.

The research is co-financed by the European Union from European Social Fund (ESF), Project „INVENTION – potential young scientists and knowledge transfer and innovation support to important areas of the economy Świętokrzyskie”, identification number: WND-POKL 08.02.01-26-020/11.

Mariola Starzomska

Zestaw turbiny wodnej z kierownicą nurtu – model matematyczny momentu napędowego

1. Wprowadzenie

Zasoby wodno-energetyczne Polski nie są zbyt imponujące, ich teoretyczną wartość obliczono w latach 60, w oparciu o metodykę Światowej Rady Energetyki. Dla średniego roku energetycznego wynoszą one około 23 TWh/rok ($1 \text{ TWh} = 10^9 \text{ kWh}$). Techniczne zasoby energetyczne wszystkich wód płynących zostały określone przez A. Hoffmana i M. Hoffmana oraz J. Tymińskiego na poziomie około 12 TWh/rok, w tym techniczne zasoby MEW (obiekty wodne do 5MW) stanowią około 2 TWh/rok [1].

Potencjał hydroenergetyczny w Polsce wykorzystany jest jedynie w 16-19% [2], co stawia nas w ogonie

Europy, gdzie średnie wykorzystanie potencjału hydroenergetycznego wynosi ok. 50%, a w wielu krajach nawet 70%.

Tradycyjne metody wykorzystania energii wody polegają na budowie kosztownych śpiętrzeń mających na ogół ogromny wpływ na środowisko. Organy wydające decyzje środowiskowe patrzą na tego typu budowle nieprzychylnym okiem preferując stosowanie turbin niskospadowych i wolnoobrotowych minimalizujących wpływ na ekosystem, takim właśnie urządzeniem jest opisywana turbina.

Na terenie województwa świętokrzyskiego brak jest warunków naturalnych sprzyjających budowie

typowych elektrowni wodnych (rzeki o niewielkich spadkach i głębokościach), dlatego też badania naukowe realizowane na Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach ukierunkowane zostały na wykorzystanie głównie energii kinetycznej zawartej w płynącej wodzie bez względu na charakter cieku wodnego.

2. Zestaw turbiny wodnej z kierownicą nurtu

2.1. Opis urządzenia

Alternatywnym, dla typowych turbin wodnych, rozwiązaniem jest zestaw turbiny wodnej z kierownicą nurtu opisany w [3]. Badana turbina jest rozwiązaniem nowatorskim, wyposażonym w karuzelowy wirnik o pionowej osi obrotu i planetarnym ruchu łopat. Posiada ona wysięgniki w postaci ram, które umocowane są do bębna ułożyskowanego na wale osadzonym w rzece. Na każdym z wysięgników osadzona jest co najmniej jedna łopata, która obraca się o kąt 180° , odpowiednie usytuowanie osi obrotu łopaty względem wysięgnika pozwala, po zakończeniu ruchu roboczego, na ustawienie się łopat swobodnie do kierunku nurtu. Wysięgniki mają postać ram utworzonych z elementów wzdłużnych umocowanych do bębna i elementów poprzecznych spinających elementy wzdłużne, które jednocześnie stanowią oparcie dla swobodnych końców łopat. Odpowiednie usytuowanie elementów poprzecznych względem osi obrotu łopat pozwala na uzyskanie większego momentu obrotowego od poszczególnych łopat i jednocześnie ułatwia wcześniejszy ich obrót.

2.2. Działanie urządzenia

Nurt wody napierając na łopaty powoduje ruch obrotowy turbiny, w fazie ruchu roboczego łopaty wspierają się na wysięgnikach, a po zbliżeniu się do dolnego biegu obracają się względem nich o 180° . Od tego momentu wykonują ruch jałowy, przeciwny do kierunku nurtu, a łopaty ustawiają się swobodnie do kierunku nurtu. W górnym biegu, rozpoczynając ruch roboczy, łopaty układają się na elementach poprzecznych wysięgnika pozostając w pozycji oparcia do momentu osiągnięcia dolnego biegu, kiedy to obracają się względem wysięgników o kąt 180° , jak to pokazano na rysunku 2. Przed turbiną, od strony napływu wody, zainstalowana jest kierownica w postaci zastawki.

3. Wyznaczenie momentu napędowego i mocy

Aby wyznaczyć moc w funkcji prędkości strumienia i prędkości obrotowej wirnika określono składowe prędkości względnej strumienia wobec poruszających się łopat wirnika, a następnie wyznaczono moment na-

pędowy wirnika z jedną łopata jak również moment napędowy dla wirnika, którego model zbudowano. W celu wyznaczenia prędkości względnej dla jednej łopaty turbiny sporządzono schemat łopaty wirnika turbiny ruchu o kąt α . Jako punkt początkowy przyjęto punkt, w którym łopata rozpoczyna bieg roboczy.

4. Wnioski

Zestaw turbiny wodnej z kierownicą nurtu jest rozwiązaniem nowatorskim zgłoszonym do ochrony patentowej pod nazwą „Zestaw turbiny wodnej i kierownicy nurtu” przez Szewczyk Stanisław, Piotrowski Jerzy Zbigniew, w dniu 27.09.2011 pod numerem A1 396452.

Urządzenie to wychodzi naprzeciw preferencjom panującym w energetyce wodnej, pozwala na wykorzystanie nurtu rzek o niewielkich głębokościach, zbudowana jest z połączonych sekcji oraz systemu naprowadzającego i zwiększającego prędkość strumienia wody kierowanej na turbinę. Pracuje ona bez konieczności budowy kosztownych spiężeń oraz przepławek prawie nie ingerując w środowisko naturalne.

Określone powyżej zależności pozwoliły na zweryfikowanie wcześniej zaplanowanego programu badań laboratoryjnych rozszerzając ich zakres, tj. wyznaczenia mocy badanej turbiny w funkcji prędkości strumienia i prędkości obrotowej o wyznaczenie współczynników hydrodynamicznych w funkcji prędkości wody względem łopaty i kąta obrotu wirnika.

Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Projektu „INWENCJA – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki” o numerze identyfikacyjnym WND-POKL 08.02.01-26-020/1.

DOROTA KORUBA¹
JERZY ZBIGNIEW PIOTROWSKI²

Kielce University of Technology
Faculty of Civil and Environmental Engineering
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce, Poland

¹ e-mail: dkoruba@tu.kielce.pl,

² e-mail: piotrowski@tu.kielce.pl

ASSESSMENT OF THE FUNGI CONTAMINATION DEGREE IN SELECTED PUBLIC BUILDINGS IN THE CITY OF KIELCE

Abstract

The purpose of writing the article was to present the results obtained in the own studies on the presence of fungi in public buildings in the city of Kielce. The study was performed in two public buildings for a total of 12 rooms. 53 samples of indoor air were collected. Based on the chamber microclimate parameters study of the public buildings as well as mycological studies a significant relation between CO₂ concentration and humidity and the presence of colony-forming units of fungi is shown.

Keywords: mycology, fungi, microclimate,

1. Introduction

Biohazards are a very important and increasingly appreciated problem both for occupational medicine and public health. Analysis of epidemiological evaluations show that in the whole world, at least hundreds of millions of people are exposed to them. It is estimated that this type of exposure occurs, not counting non-business indoor environment in at least 148 specific occupational groups belonging to 22 categories of major industries. Therefore, the exposure to the biological agents in the workplace and outside of the workplace are common and often leads to adverse health effects, ranging from simple irritation and discomfort, by allergic reactions to infection, infectious diseases and toxic reactions. The most common hazard in the workplace the harmful biological agents generate is one which comes from bio-aerosols which are transmitted through air and air-dust or droplets and penetrate into the body through the skin, mucous membranes or blood-sucking arthropod sting and rarely enter the body by ingestion which is not the typical way of occupational infections. Studies on the occurrence of fungi in the workplaces were carried out in the city of Kielce. Buildings were selected to the study which showed signs of mold bio-deterioration surface on the surface of walls. They were evaluated for mycological indoor air.

2. Materials and Methods

The air micro flora tests were made using Koch sedimentation, applied a 30-minute exposure time of the Sabouraud substrate on the Petri plate with 2% glucose (Merck).

Sabouraud is used for the isolation and cultivation of all fungi. Peptones in the Sabouraud Glucose Agar substrate are source for the nitrogen growth factors. Glucose is a source of the energy required for growth of microorganisms. The high glucose concentration facilitates the growth of fungi (osmotic stable), while most of the bacteria do not tolerate high concentrations of sugars. Moreover, the low pH is optimal for the fungi, unlike many bacteria [1–5]. After exposure, the substrate was incubated at 26°C for 6 days. The results given in colony forming units in 1 m³ of air [cfu/m³]. The identification of fungi were considered characteristic of asexual reproduction organs, structure and color of the mycelium, color and length of conidiophores, conidia way of creating, building shape and conidia color. Macroscopic features of fungi colonies taken into account in their identification: the diameter of the colony, the structure and pattern of growth, colony color on top and the color of the bottom hand, secretions drops, pigment color penetrating to the surface, the middle layer and the edge of the colony.

Measurements were performed in triplicate. At the time of measurement in the test room doors and windows were closed. Incubating the cultures in Petri plates (diameter 90 mm) was carried out under conditions of temperature (approx. 26°C) for 6 days. After incubation the number of colonies was determined and number of CFU was calculated (colony forming unit) – colony forming units, per 1,000 l (1 m³) of the air. The number of fungal colonies grown on the plate was converted to 1 m³ of air according to the following formula:

$$X = \frac{a \cdot 1000}{V} \quad (1)$$

where: a – the total fungal colonies that grew on the plate of the air sample, V – the volume of air taken in liters.

Identification of fungi species was based on generally accepted methods used in mycological laboratories with monographs available. Measurements of microclimate parameters such as temperature, humidity and carbon dioxide concentration was performed using equipment Indoor Air Quality Monitor PS32.

3. Aim of the study

The aim of the study were:

1. Assessment of microbial contamination of the air in selected public areas.

2. Measurements of microclimate parameters such as temperature, humidity and carbon dioxide concentration.
3. Demonstration of the relation between the parameters of the microclimate and the presence of individuals to form colonies of fungi in the air of public rooms.

4. Objects of research

The subject of physical and mycological studies is the indoor air quality in a utilities rooms equipped with a gravity system of ventilation and air-conditioning. The study was performed in two public buildings: pharmacy (main hall, social room, hallway, bathroom), clinic (registration, hallway, bathroom, physiotherapy, treatment room, rheumatology surgery, cast surgery, X-rays) in a total 12 rooms. Total of 53 samples of indoor air were taken.

5. Results

5.1. Material collected from the pharmacy rooms

Pharmacy rooms are air-conditioned, had a significantly small number of units to form colonies of fungi. Figs.1–4 presents the obtained results.



Fig. 1. Results from the main hall

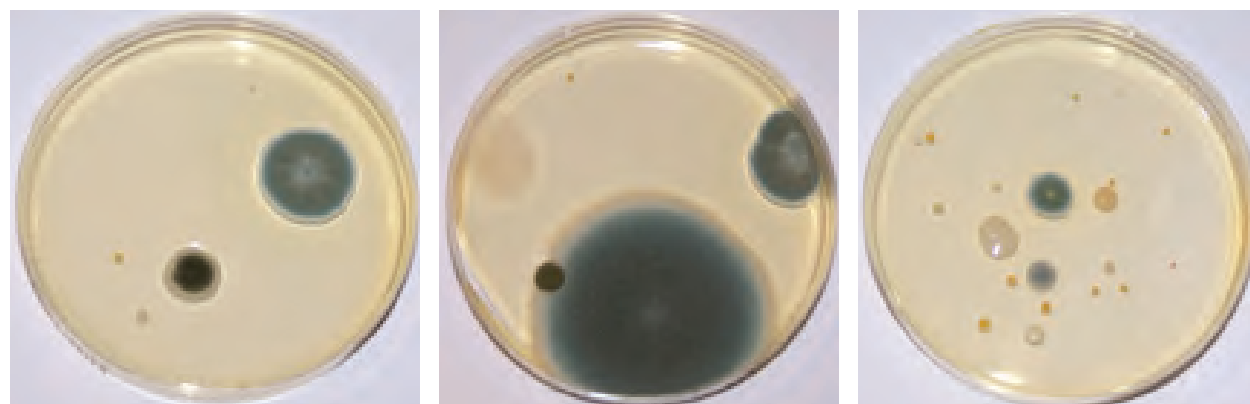


Fig. 2. Results from the staff room

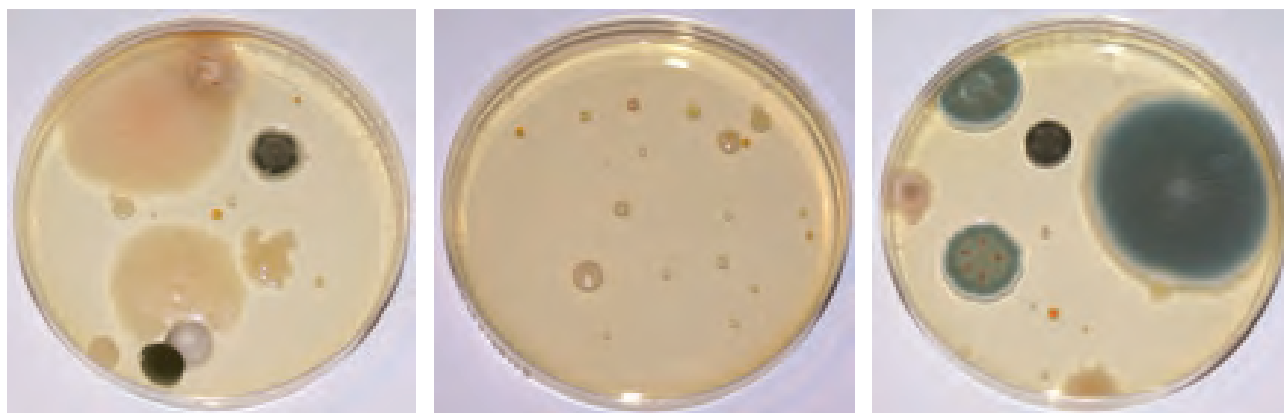


Fig. 3. Results from bathroom



Fig. 4. Results from the corridor

Table 1. Fungal mycological air contamination assessment on the Sabourand substrate with 2% glucose with the parameters evaluation of examined microclimate rooms

Fungi									
No.	T, °C	RH, %	CO ₂ , ppm	place	I	II	III	average	Fungi in m ³
Pharmacy									
1.	22.3	36.8	473.8	main hall	2	2	2	2.00	52
2.	22.9	37.3	358.9	staff room	3	4	2	3.00	79
3.	23.5	36.9	536.9	bathroom	5	0	6	3.67	96
4.	24.6	39.8	869	hallway	16	3	10	9.67	253

Table 2. Quantitative analysis of yeast-like fungi

Yeast-like fungi						
No.	place	I	II	III	average	Fungi in m ³
Pharmacy						
1.	main hall	5	5	5	5.00	131
2.	staff room	3	2	15	6.67	175
3.	bathroom	12	21	15	16.00	419
4.	hallway	9	8	4	7.00	183

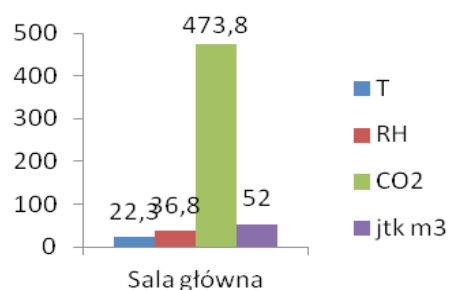


Fig. 5. Quantitative analysis of fungi internal air in Pharmacies' main hall

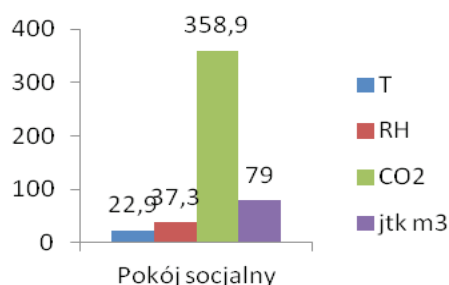


Fig. 6. Quantitative analysis of fungi internal air in Pharmacies' staff Room

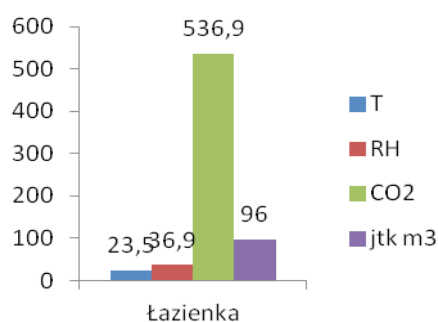


Fig. 7. Quantitative analysis of fungi internal air in Pharmacies' bathrooms

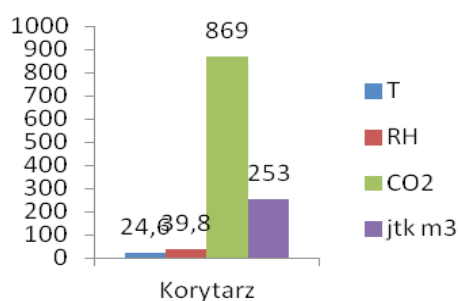


Fig. 8. Quantitative analysis of fungi internal air in Pharmacies' corridor

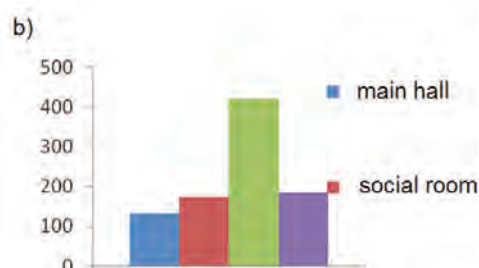
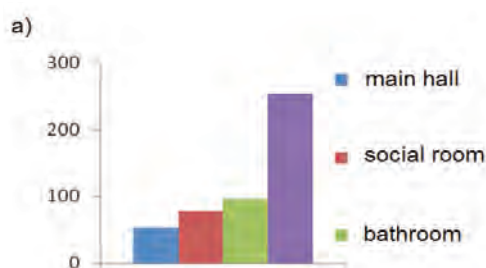


Fig. 9. Comparing the amount of fungi (a) and yeast-like fungi (b) of the internal air in Pharmacies' rooms

5.2. Material collected from the clinic rooms

The following photos below present sample photographs of fungi breed



Fig. 10. Results from the registration

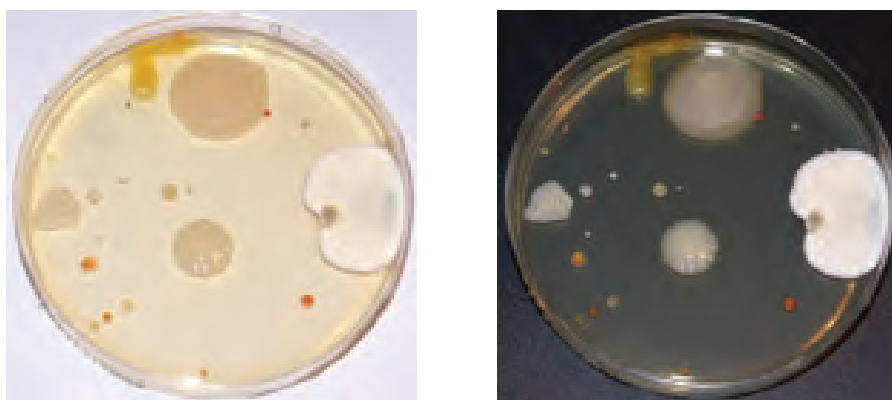


Fig. 11. Results from the corridor

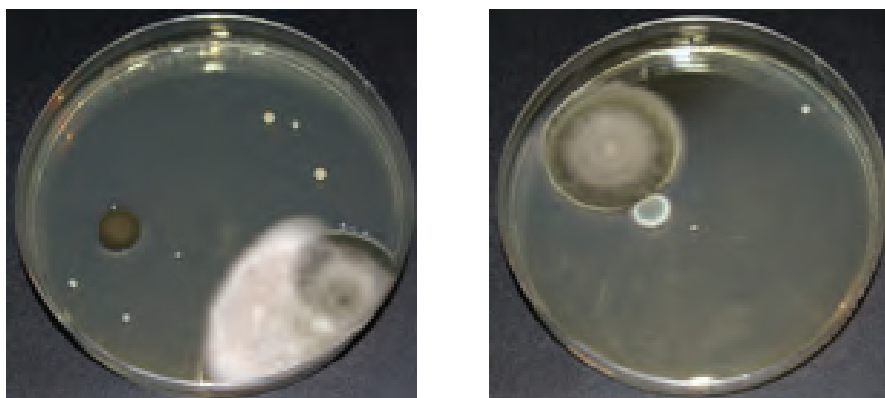


Fig. 12. Results from the bathroom

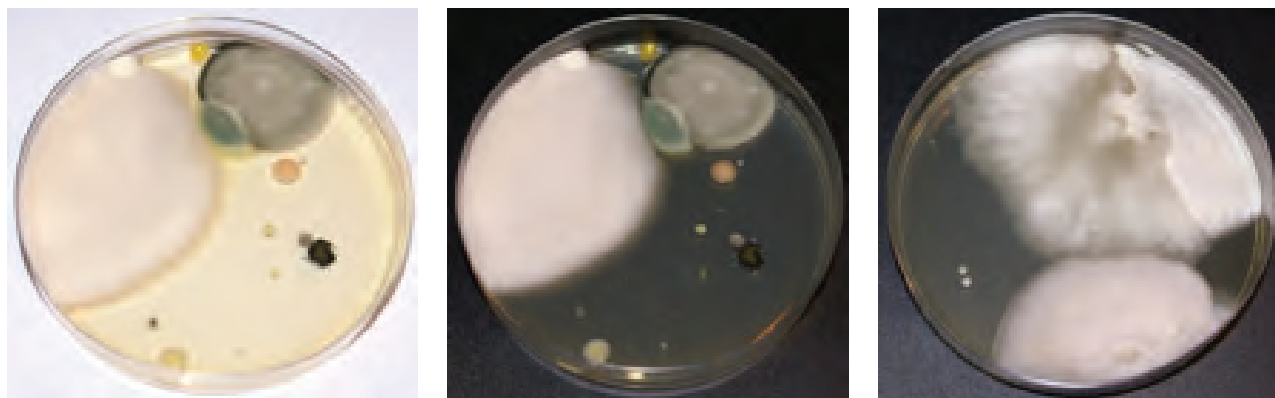


Fig. 13. Results from the physiotherapy room



Fig. 14. Results from the treatment room



Fig. 15. Results from rheumatology surgery

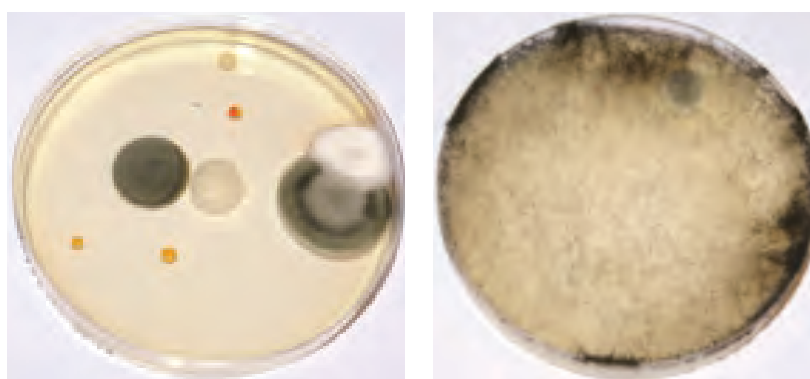


Fig. 16. Results from the cast room

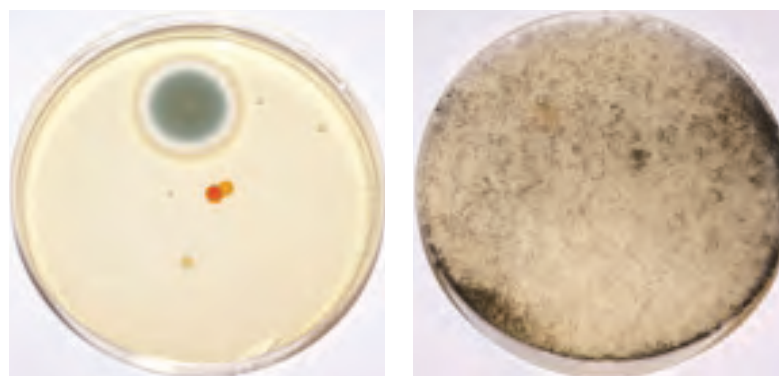


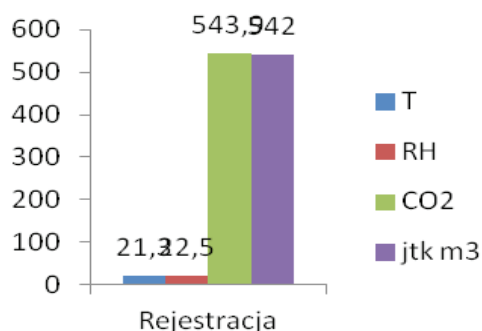
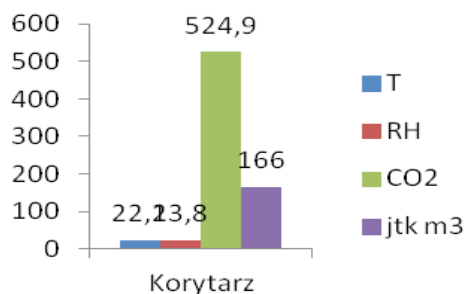
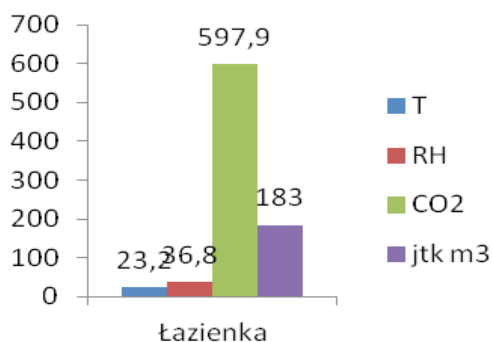
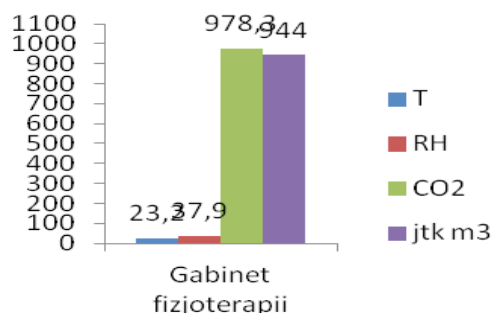
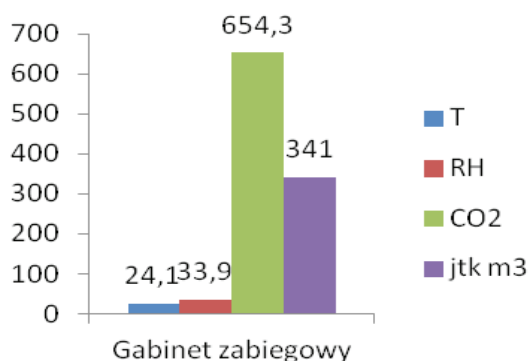
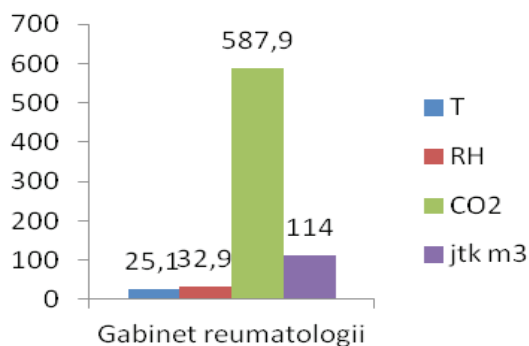
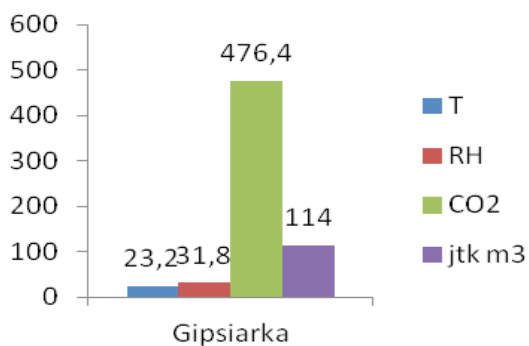
Fig. 17. Results from the X-ray room

Table 3. Assessment of fungal contamination on the Sabourand substrate air with 2% glucose and the parameters evaluation of examined microclimate rooms

Fungi									
No.	T, °C	RH, %	CO ₂ , ppm	place	I	II	III	average	Fungi in m³
Health center									
1.	21.3	22.5	543.9	registration	3	50	9	20.67	542
2.	22.1	23.8	524.9	corridor	3	6	10	6.33	166
3.	23.2	36.8	597.9	bathroom	2	18	1	7.00	183
4.	23.2	37.9	978.3	physiotherapy room	45	11	52	36.00	944
5.	24.1	33.9	654.3	treatment room	30	3	6	13.00	341
6.	25.1	32.9	587.9	rheumatology surgery	4	7	2	4.33	114
7.	23.2	31.8	476.4	cast room	3	3	7	4.33	114
8.	21.3	30.2	598.9	X-ray room	1	1	0	0.67	17

Table 4. Quantitative analysis of yeast-like fungi

Yeast-like fungi						
No.	place	I	II	III	average	Fungi in m ³
Health center						
1.	registration	2	0	10	4.00	105
2.	corridor	15	12	20	15.67	411
3.	bathroom	2	6	5	4.33	114
4.	physiotherapy room	10	7	8	8.33	218
5.	treatment room	13	6	9	9.33	245
6.	rheumatology room	3	11	4	6.00	157
7.	Cast room	8	8	9	8.33	218
8.	X-ray	7	5	1	4.33	114

**Fig. 18.** Quantitative analysis of fungi inner air in the Clinic registration**Fig. 19.** Quantitative analysis of fungi inner air in the Clinic corridor**Fig. 20.** Quantitative analysis of fungi inner air in Clinic bathrooms**Fig. 21.** Quantitative analysis of fungi in the inner air in the physiotherapy room**Fig. 22.** Quantitative analysis of fungi inner air in the surgical room**Fig. 23.** Quantitative analysis of fungi inner air in the rheumatology room**Fig. 24.** Quantitative analysis of fungi inner air in the cast room

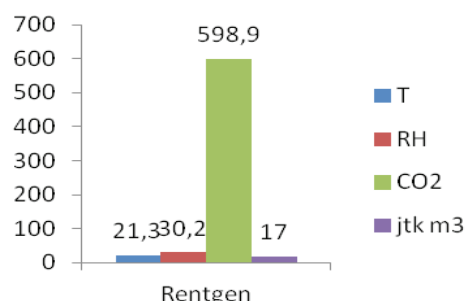


Fig. 25. Quantitative analysis of fungi inner air in the X-ray room

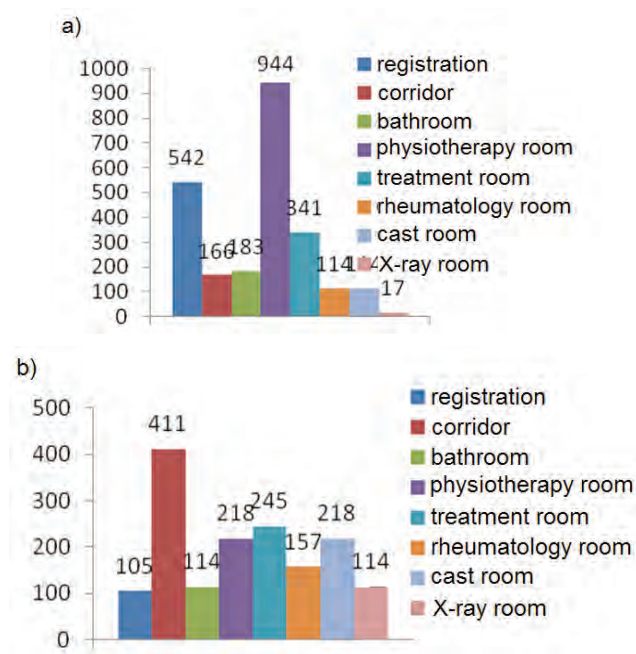


Fig. 26. Comparing the amount of fungi (a) and yeast-like fungi (b) in the indoor air in Clinic rooms

Based on the study of microclimate parameters of public buildings and mycological studies a significant relation between CO₂ concentration and humidity and the presence of colony-forming units of fungi have shown. This may mean that an increased concentration of CO₂ may be beneficial for the development of mycelium (mycelium) by the fact that fungi can utilize it as a carbon source.

Considering the growing problem of fungi contamination of the places especially the ones which should be considered biologically clean the microclimate parameters of these places should be clarified.

In particular way biologically clean places should be classified which may include pharmacies, as well as a medical clinic. In Poland, however, there is no standard for microbiological cleanliness classes of indoor air not only for residential buildings and public

buildings, but also to the biologically clean places. For example, microbiological cleanliness class of hospital rooms are set the outlines [6] (depending on the maximum number of bacteria in 1 m³ of air)

Determination of microbiological cleanliness class of the air is made by the identification and quantization of microorganisms. Classification for microbial contamination, however, has never been established by for example the ISO, as it happened in the case of dust pollutions [7], so it is an additional criterion which is not always taken into account. Another aspect is to maintain a minimum amount of fresh air and recirculation, which is economically justified, but should be carefully designed based on detailed input.

The foreign law for the hospital rooms or pharmaceutical clean room refers to the maximum number of colonies of micro-organisms in the air, with no distinction between bacteria and fungi and without the identification of the genera and species of microorganisms [8].

Many guidelines and standards in general for all different clean rooms impose their classification based on the degree of molecular contamination. Among Polish standards there is the division into two positions, wherein the information contained in whole or largely is based on international standards. Since 1995, replacing the standard BN-88/8962-05: PN-B-76003. It was introduced in 1996 and it also did not concern the general assumption of clean rooms and their classification as it is performed in the class table showing the cleanliness of the places according to Federal Standard 209E. Currently, the standard classifying all the clean rooms is recognized by the Polish Committee for Standardization, Resolution No. 29/2002-oz on 13 August 2002, the European standard: ISO 14644-1: Cleans rooms and associated controlled environments – Parts 1: Classification of air cleanliness (ISO 14644-1:1999). In ISO 14644-1 defines a cleanliness class based on the relation: $CN = 10N * (0.1 / A)^{2.08}$, CN – the maximum number of molecules of a certain size [-] D – molecule size [mm], N – ISO classification number [-]. The term of air cleanliness was introduced evaluated in terms of microbiological but mostly in the hospital.

6. Conclusions

1. Air-conditioned rooms have less fungi pollution than not air-conditioned rooms.
2. According to the rules proposed by Krzysztofik the internal bio-aerosol was considered clean.

3. In view of the increasing problem of fungi contamination of buildings, especially the rooms biologically clean parameters characterizing the purity of mycological buildings should be specified.
4. Based on the study of microclimate parameters of public buildings and mycological studies both have shown a significant relation between CO₂ concentration and humidity and the presence of colony-forming units of fungi.

References

- [1] Sabouraud R., *Contribution a l'etude de la trichophytie humaine. Etude clinique, microscopique bacteriologique et sur la pluralité des trichophytions de l'homme*. Ann. Dermatol. Syphil. 3: 1061-1087, 1892.
- [2] Haley L.D., Trandel J., Coyle M.B., *Cumitech II, Practical methods for culture and identification of fungi in the clinical microbiology laboratory*. Coordinating eds., J.C. Sherris. American Society for Microbiology, Washington, DC, 1980.
- [3] Ajello L., Georg L.K., Kaplan W., and Kaufman L., *CDC laboratory manual for Medical Mycology*. PHS Publication No. 994, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1963.
- [4] MacFaddin J.F., *Media for isolation-cultivation-identification-maintenance of medical bacteria*. vol I. Williams & Wilkins, Baltimore, 1985.
- [5] Sutton J. A., *Specimen Collection, Transport, and processing: Mycology*. In: Murray P.R., Baron E.J., Jorgensen J.H., Pfaller M.A., and Tenover F.C. (ed.). *Manual of clinical microbiology*, 8th ed. American Society for Microbiology, Washington, DC, 2003.
- [6] Kruczkowski P., Kolenderski W., Sikorski J., *Design Guidelines for general hospitals. Sanitary, Ventilation and Air Conditioning*, 5, 1984.
- [7] Szałowski R., *Microclimate of the operating rooms in air exchange organizations*. PhD thesis, Wrocław, 2006.
- [8] Kharkiv A., *Microbiological indoor air classes*. Heating, Calorifics, Ventilation, 11, 12, 1998.

„The work is co-financed from the means of the European Social Fund within the Project „Invention – the key areas of Świętokrzyski region economy supported by young scientists’ potential as well as by the knowledge and innovation transfer”, with the identification number WND-POKL 08.02.01-26-020/1”.

Dorota Koruba

Jerzy Zbigniew Piotrowski

Ocena stopnia skażenia grzybami pleśniowymi wybranych obiektów użyteczności publicznej na terenie miasta Kielce

1. Wprowadzenie

Biologiczne czynniki szkodliwe stanowią bardzo ważny i coraz częściej doceniany problem zarówno medycyny pracy, jak i zdrowia publicznego. Analizy ocen epidemiologicznych wskazują, że w skali całego świata, co najmniej kilkaset milionów ludzi jest narażonych na ich działanie. Szacuje się, że tego typu narażenie występuje, nie licząc pozazawodowego środowiska wewnątrz, w co najmniej 148 specjalistycznych grupach zawodowych należących do 22 kategorii dużych gałęzi gospodarki. Narażenie na czynniki biologiczne w środowisku zawodowym i pozazawodowym jest zatem powszechne i często prowadzi do wystąpienia wielu niekorzystnych skutków zdrowotnych, poczynając od prostych podrażnień i dolegliwości, przez

reakcje alergiczne, aż do wystąpienia infekcji, chorób zakaźnych i reakcji toksycznych. Najpowszechniejsze zagrożenie w środowisku pracy biologiczne czynniki szkodliwe stwarzają jako składniki bioaerozoli, które przenoszone drogą powietrzno-pyłową lub powietrzno-kropelkową, wnikają do organizmu przez skórę, błony śluzowe czy ukłucie krwio pijnych stawonogów, a rzadziej dostają się do organizmu drogą pokarmową, która nie jest drogą typową dla zakażeń zawodowych. Badania nad występowaniem grzybów pleśniowych w obiektach budowlanych przeprowadzono na terenie miasta Kielce. Do badań wybrano budynki, w których zaobserwowano oznaki biodeterioracji pleśniowej na powierzchni przegród. Przeprowadzono ocenę pod kątem mikologicznym powietrza wewnętrznego.

2. Materiały i metody

Badania mikroflory powietrza wykonano metodą sedymentacyjną Kocha, zastosowano 30-minutowy czas ekspozycji płytek Petriego z podłożem Sabourauda z 2% glukozą (Merck).

Sabouraud jest wykorzystywane do izolacji i hodowli wszystkich grzybów. Peptony w podłożu Sabouraud Glucose Agar są źródłem azotowych czynników wzrostu. Glukoza stanowi źródło energii niezbędnej do wzrostu drobnoustrojów. Wysokie stężenie glukozy ułatwia wzrost grzybów (stabilnych osmotycznie), podczas gdy większość bakterii nie toleruje wysokiego stężenia cukrów. Ponadto, niskie pH jest optymalne dla grzybów, w odróżnieniu od wielu bakterii [1–5]. Po ekspozycji podłoża inkubowano w temperaturze 26°C przez okres 6 dni. Wyniki podawano w jednostkach tworzących kolonie w 1 m³ powietrza [jtk/m³]. Przy identyfikacji grzybów pleśniowych brano pod uwagę charakterystyczne bezpłciowe organy rozmnażania, budowę i barwę grzybni, barwę i długość konidioforów, sposób tworzenia konidiów, budowę, kształt, barwę konidiów. Cechy makroskopowe kolonii grzybów pleśniowych brano pod uwagę przy ich identyfikacji: średnica kolonii, struktura i charakter wzrostu, barwa kolonii na wierzchu i zabarwienie jej dolnej strony, krople wydzielin, kolor pigmentu przenikającego do podłoża, warstwę środkową i brzegową kolonii.

Pomiary były wykonywane w trzech powtórzeniach. W czasie pomiaru w badanych pomieszczeniach drzwi i okna były zamknięte. Inkubację posiewów na płytkach Petriego (średnica 90 mm) prowadzono w warunkach temperatury (ok. 26°C) przez 6 dni. Po zakończeniu inkubacji ustalono liczbę kolonii i obliczono liczbę CFU (*colony forming unit*) – jednostek tworzących kolonie, w przeliczeniu na 1000 l (1 m³) powietrza. Liczbę kolonii grzybów wyrosłych na płytce przeliczano na 1 m³ powietrza wg wzoru (1)

Identyfikacje grzybów o gatunku przeprowadzono opierając się na ogólnie przyjętych metodach stosowanych w laboratoriach mikologicznych oraz przy pomocy dostępnych monografii.

Pomiary parametrów mikroklimatu, tj. temperatury, wilgotności powietrza i stężenia dwutlenku węgla wykonano za pomocą urządzenia Indoor Air Quality Monitor PS32.

3. Cel badań

Celem badań były:

1. Ocena zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza w wybranych pomieszczeniach użyteczności publicznej.

2. Pomiary parametrów mikroklimatu, tj. temperatury, wilgotności powietrza i stężenia dwutlenku węgla.
3. Wykazanie zależności pomiędzy parametrami mikroklimatu a występowaniem jednostek mogących tworzyć kolonie grzybów pleśniowych, w powietrzu pomieszczeń użyteczności publicznej.

4. Obiekty badań

Przedmiotem badań mikologicznych i fizycznych jest jakość powietrza wewnętrznego pomieszczeń obiektów użyteczności publicznej wyposażonych w grawitacyjny system wentylacji oraz klimatyzacji. Badania wykonano w dwóch obiektach użyteczności publicznej: apteka (sala główna, pokój socjalny, korytarz, łazienka), przychodnia lekarska (rejestracja, korytarz, łazienka, gabinet fizjoterapii, gabinet zabiegowy, gabinet reumatologii, gipsiarka, rentgen) w sumie w 12 pomieszczeniach. Pobrano w sumie 53 próbki powietrza wewnętrznego.

5. Wyniki

5.1. Materiał pobrany z pomieszczeń apteki

Pomieszczenia apteki były klimatyzowane, stwierdzono istotnie małą liczbę jednostek mogących tworzyć kolonie grzybów pleśniowych.

5.2. Materiał pobrany z pomieszczeń przychodni

Na podstawie przeprowadzonych badań parametrów mikroklimatu pomieszczeń użyteczności publicznej i badań mikologicznych wykazano istotne zależności pomiędzy stężeniem CO₂ i wilgotnością a występowaniem jednostek tworzących kolonie grzybów pleśniowych. Może to oznaczać, że podwyższone stężenie CO₂ może mieć korzystny wpływ na rozwój grzybni (mycelium) poprzez to, że grzyby pleśniowe mogą wykorzystywać go jako źródło węgla.

Wziąwszy pod uwagę narastający problem skażenia pleśniowego pomieszczeń szczególnie pomieszczeń, które powinny być uznane za bioczyste, powinny zostać sprecyzowane parametry mikroklimatu tych pomieszczeń.

W szczególny sposób powinny być klasyfikowane tzw. pomieszczenia bioczyste, co może dotyczyć aptek, jak również przychodni lekarskich. W Polsce nie istnieje jednak żadna norma dotycząca klas czystości mikrobiologicznej powietrza wewnętrznego, nie tylko w odniesieniu do budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej, ale nawet do pomieszczeń bioczystych. Na przykład, klasy czystości mikrobiologicznej pomieszczeń szpitalnych są określone w wytycznych [6] (w zależności od maksymalnej liczby bakterii znajdujących się w 1 m³ powietrza).

Określenie klasy czystości mikrobiologicznej powietrza następuje przez identyfikację i pomiar ilościowy mikroorganizmów. Klasyfikacja dotycząca zanieczyszczeń mikrobiologicznych nigdy jednak nie została określona np. standardem ISO, tak jak stało się to w przypadku zanieczyszczeń pyłowych [7], dlatego stanowi dodatkowe kryterium, które nie zawsze jest brane pod uwagę. Innym aspektem jest zachowanie minimalnej ilości powietrza świeżego i stopnia recyrkulacji, co ma uzasadnienie ekonomiczne, ale powinno być precyzyjnie projektowane w oparciu o szczegółowe dane wejściowe.

W przepisach zagranicznych, dotyczących pomieszczeń szpitalnych lub czystych pomieszczeń przemysłu farmaceutycznego jest mowa o dopuszczalnej liczbie kolonii mikroorganizmów znajdujących się w powietrzu, bez rozróżnienia na bakterie i grzyby oraz bez identyfikacji rodzajów i gatunków mikroorganizmów [8].

Wiele wytycznych i norm dotyczących w ogólności wszystkich pomieszczeń czystych narzuca różną ich klasyfikację w oparciu o stopień zanieczyszczenia cząstkowego. Wśród norm polskich można wyróżnić dwie pozycje, przy czym zawarte w nich informacje w całości lub w znacznej części opierają się na normach zagranicznych. Z 1995 r. norma zastępującej BN-88/8962-05: norma PN-B-76003. Została wprowadzona w 1996 r. i ona również nie dotyczyła w ogólnym założeniu pomieszczeń czystych i ich klasyfikacji, to wystąpiła w niej tabela przedstawiająca klasy czystości pomieszczeń wg Federal Standard 209e. Obecnie standardem klasyfikującym wszystkie pomieszczenia czyste jest uznana przez Polski Komitet Normalizacyjny, uchwałą nr 29/2002-o z dnia 13 sierpnia 2002 r., norma europejska: ISO 14644-1: Cleansrooms and associated controlled environments – Parts 1: Classification of fair cleanliness (ISO 14644-1:1999). W normie ISO 14644-1 klasę czystości definiuje się na podstawie relacji: $CN = 10N \times (0,1/D)^{2,08}$, CN – maksymalna liczba cząstek o określonej wielkości [–], D – wielkość cząstek mm, N – numer klasyfikacji wg ISO [–]. Wprowadzono określenie czystości powietrza ocenianej pod kątem mikrobiologicznym, ale głównie w szpitalnictwie.

6. Wnioski

1. Pomieszczenia klimatyzowane wykazują mniejsze zanieczyszczenie grzybami pleśniowymi niż pomieszczenia nie klimatyzowane
2. Według norm zaproponowanych przez Krzysztofika bioearozol wewnętrzny uznano za czysty.

3. Wobec narastającego problemu skażenia pleśniowego budynków użyteczności publicznej, szczególnie pomieszczeń biocystrych należy sprecyzować parametry charakteryzujące stan czystości mikologicznej obiektów budowlanych.
4. Na podstawie przeprowadzonych badań parametrów mikroklimatu pomieszczeń użyteczności publicznej i badań mikologicznych wykazano istotne zależności pomiędzy stężeniem CO₂ i wilgotnością a występowaniem jednostek tworzących kolonie grzybów pleśniowych.

„Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Projektu „INWENCJA – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki” o numerze identyfikacyjnym WND-POKL 08.02.01-26-020/1”.

INVESTIGATION OF THE SURFACE QUALITY ALLOYING WITH THE ELECTRODES OF CHROMIUM-NICKEL STEEL

Abstract

The paper presents a brief study of electro-discharge mechanical machining with an elastic, discrete electrode. The factors causing the chemical composition and surface roughness of superficial layer have also been taken into consideration. Attention has also been given to the relation between the material of electrode and the superficial layer composition. The superficial layer obtained by BEDMM consist of several layers. At the top, a molten and resolidified layer, called recast layer, is observed. This layer is usually present because material removal in BEDMM is mainly based on melting process of the workpiece material. In the recast layer in machining condition the mixing and diffusion of the material hot electrode and the workpart can occur.

Keywords: electroerosion, flexible electrode, alloying, superficial layer

1. Introduction

due to the present trend in constructing machines, alloys of special properties are often used. These materials are characterised by mechanical durability and high resistance to abrasion and corrosion. Cutting such materials may prove difficult because most of them are hard to cut. The process is made even more difficult by the fact that parts made of these alloys are of complex shapes. In these circumstances it is advisable to use BEDMM as the surface finishing process.

BEDMM involves gradual removal of the extra material from the surface of the part being machined by electro-erosive, electro-chemical and mechanical processes [10]. Apart from the removal of the material, mass exchange processes between the hot electrode and the machined part take place, being the result of the mixing of the partially melted electrodes and diffusion processes. As a result of those processes the chemical composition and geometrical structure of the superficial layer of the part is formed. Consequently, the resulting layer exhibits new properties [2, 5, 7].

2. Experimental investigations

The investigations aim to explain the phenomena occurring in the process of electrodischarge

mechanical machining with the brush electrode as well as to determine the influence of the machining conditions on the surface layer conditions.

The following factors (Fig. 1) influencing the machining results have been examined:

- kinematics parameters (v_0 – rotational speed of the brush electrode, v_f – feed-rate),
- electric parameters (U – voltage, E – impulse energy, τ – impulse time duration),
- material of brush electrodes (tungsten, molybdenum, chromium-nickel steel) and diameter of wires,
- value of the deflection (Δ) of the hot electrode components.

The layer is shaped by the energetic effect of the discharge on the electrodes and the following phenomena are caused by such a discharge:

- superficial melting of the anode and cathode,
- expulsion of the material into the inter-electrode area and its consequent solidification,
- transfer of the melted material from the hot electrode onto the part surface,
- mixing and diffusion of the particles of the transferred material into the workpiece material,
- temperature increase of the surrounding layers,
- very fast cooling of the superficial layer due to

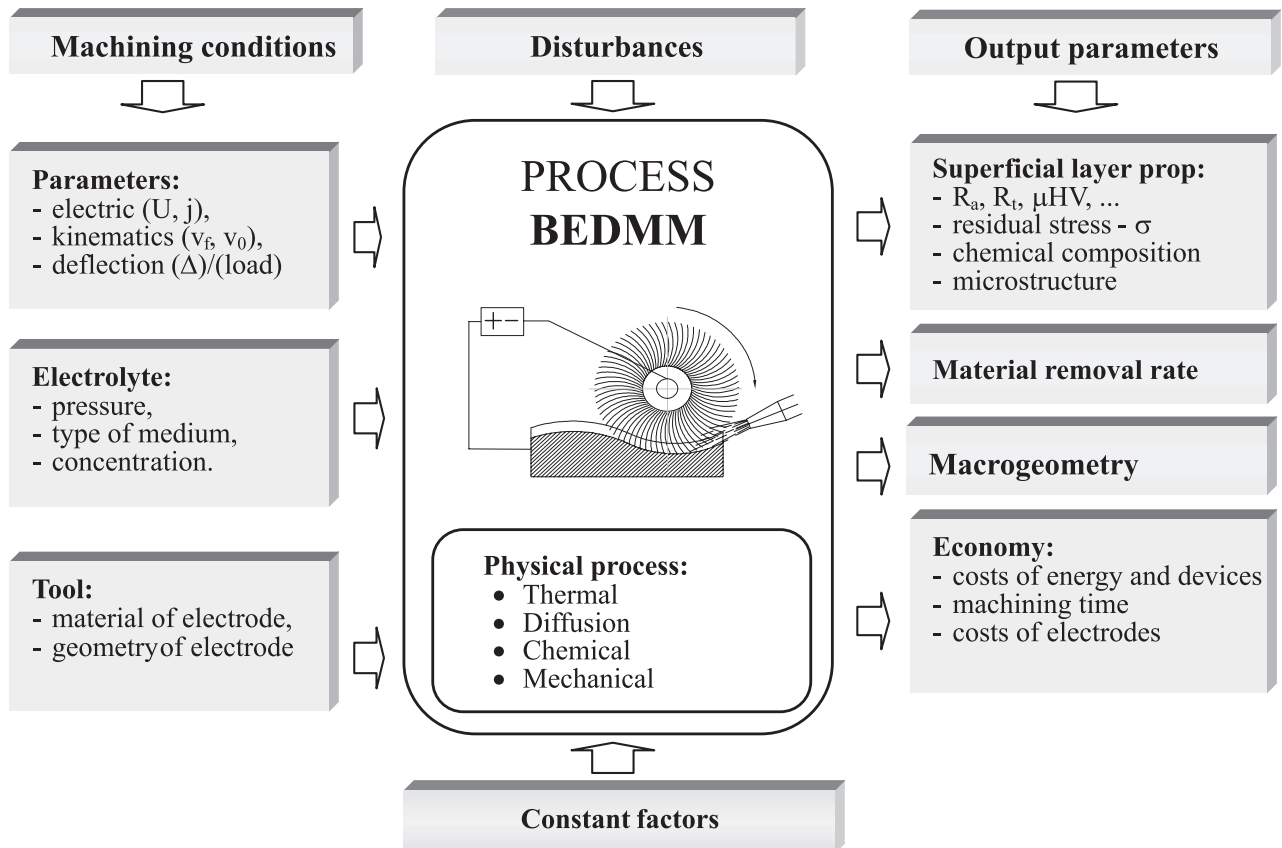


Fig. 1. BEDMM process as a subject investigation

the heat transfer through the part core.

The above factors have influenced the following output parameters:

- productivity
- parameters describing the geometry of the surface layer ($R_a, R_t, S_m, D_q, W_a, W_t, W_{sm}$)
- surface texture
- metallographic structure of the superficial layer
- superficial layer chemical composition

- microhardness distribution in the superficial layer.

In the BEDMM process [2] a rotating metal brush is used as a tool and the process is performed in the presence of a machining fluid, which is water-glass in water solution with composition ratio lower than that used in erosion-mechanical cutting ($< 10\%$). The position of the brush should be properly chosen, as shown in Figure 2a to ensure deflection (Δ) of the tool components big enough to allow mechanical rupture of the anodic layer

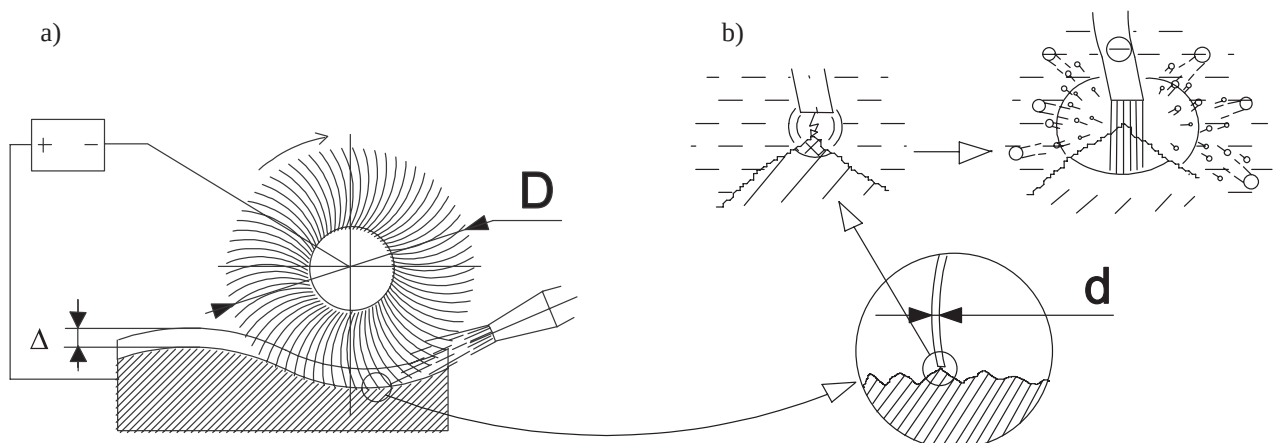


Fig. 2. Electrical discharge occurs in BEDMM process

on the surface of the workpiece and an initiation of an electrical discharge. After the initiation is achieved and the plasma channel is built a rapid local increase in temperature occurs on the peak of roughness which causes melting, evaporation and metal removal. Figure 2b shows the principle of this process. Electrochemical, electro discharge and mechanical phenomena and their interaction can be found in BEDMM.

In electrical discharge machining spark discharges are the main factor influencing the formation of the superficial layer [10, 11]. As a result of single discharges local melting and material evaporation occur, resulting in roughening of the surface in the form of craters. They are determined, but as the craters overlap and are randomly distributed their structure must be random in nature.

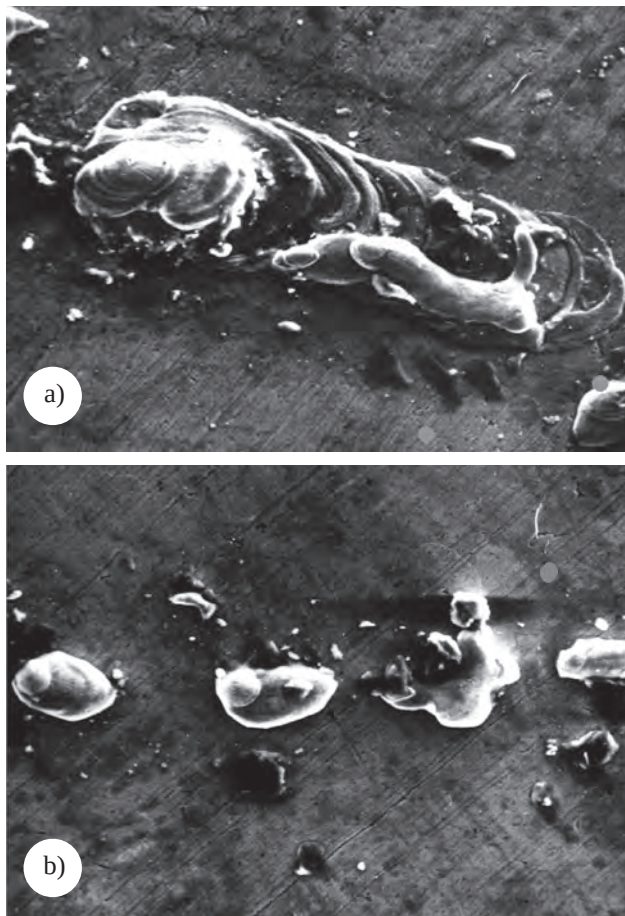


Fig. 3. SEM photograph of the BEDMM machined surface with a visible trace of the discharges, single wire $d = 0.185$ mm (the diameter of the wire), $v_o = 0.7$ m/s,
a) $U = 8$ V, magnification 300x,
b) $U = 4$ V, magnification 300x.

With typical parameters of machining the mechanical contact of the brush with the melted metal can cause the liquid metal to spread over the machined surface,

as a result of which the peaks of roughness are flattened. An increase in pressure, with low voltage applied, can cause the depassivated layer to be torn off. Eventually, it leads to a direct contact of the electrodes and the fading of the discharges. That, in turn, changes the nature of the process to electromechanical. In these circumstances the main process that forms the geometrical structure of the surface layer is furrowing the surface with each part of the brush.

Detailed examinations of the superficial layer carried out by means of X-ray diffraction microanalysis have shown that apart from the removal of the material from the machined surface, particles of the hot electrode are transferred to the machined part. As a result of these processes a 5–10 μ m thick modified layer is created. When molybdenum, tungsten or chromium nickel steel electrodes are used, the concentration level of these elements in the superficial layer increase up to 10%.

Some wires affect the surface by electrical discharges and by the above-described process of mass transfer from the cathode to the anode and thermochemical modification of the superficial layer. Other wires affect the surface in an electromechanical way [1]. The mechanical contact of the wires with the machined surface is accompanied by an electric current without any discharges. This electromechanical influence results in smoothing the roughness peaks created by the electric discharges and in the temperature increase of the machined surface.

The electrical erosion phenomena, which occur during machining with the brush electrode, are accompanied by a mechanical contact of the elastic brush wires, which are pressed against the machined surface and move at high speed. It results in removing the machined part particles, which do not adhere closely to the surface and cause surface smoothing.

The surface texture is random and consists of micro-craters covered by micro-irregularities resulting from the dynamic effects of the melted metals particles transfer, thermocapillary waves, etc. with the distinct summit levelling due to the mechanical effect of the brush elements.

The final effect of the process is shown in Figure 4a. It is a surface machined with voltage applied $U = 12$ V. The results of the research have been supplemented by the profilogram of a surface machined in the BEDMM process. Its analysis shows that removal of material occurs mainly at the peaks of the roughness.

On closer inspection [5] the profile (Fig. 4b) of the surface appears to be asymmetrical. Two structures

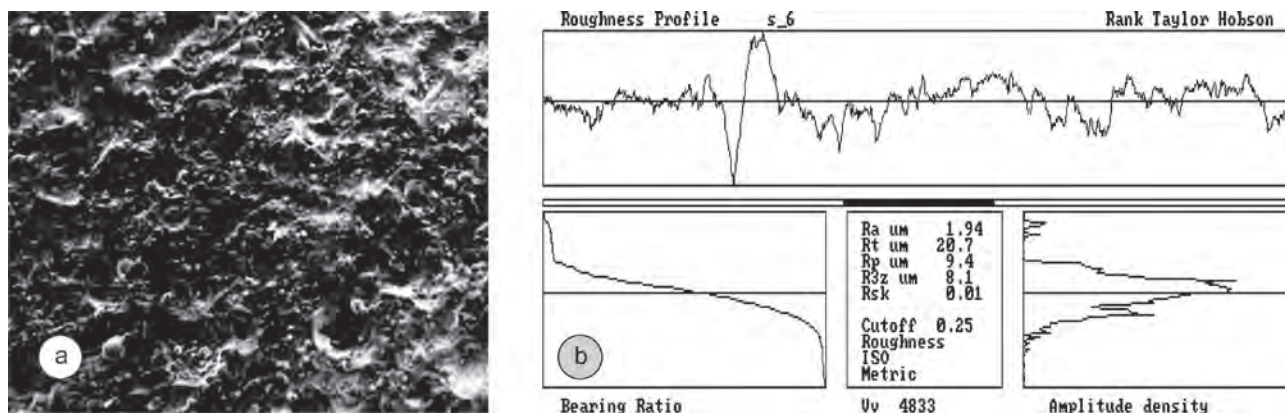


Fig. 4. SEM photograph of a surface: a) and profilogram of a layer, b) after being BEDMM machined, the voltage applied $U = 12\text{ V}$, $d = 0.3\text{ mm}$ (the diameter of a single wire), $v_0 = 3.6\text{ m/s}$ (tangential velocity), $v_f = 12\text{ mm/min}$ (feed rate)

can be distinguished, the primary one, being the result of spark discharges and seen as craters in the shape of spherical caps, and the secondary one, being the result of mechanical and electrochemical processes, mainly seen at the peaks of roughness. The peaks being flat, the roughness of the layer has an advantageous profile.

The range of roughness produced by the process (Fig. 5) is $R_a = 0.5\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$, the lower values being comparable to the values produced by grinding.

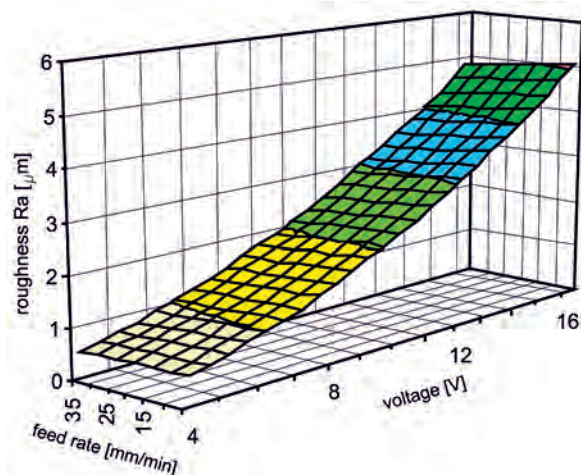


Fig. 5. The effect of the voltage and tangential velocity of the hot electrode on R_a , with chromium cast-iron being the machined alloy, $d = 0.3\text{ mm}$ (the diameter of a single wire), deflection $\Delta = 0.4\text{ m/s}$, $v_f = 12\text{ mm/min}$ (feed rate)

Residual stresses in the superficial layer usually occur as a result of the melting and solidifying of the superficial layer. Examinations carried out using the Philips-Weisman method have demonstrated that the stresses are positive. They occur at a depth of no more than $100\text{ }\mu\text{m}$. After BEDMM roughening machining ($U = 16\text{ V}$) maximum tensile stress achieved is 1500 MPa . Applying mechanical machining with a rotating brush to a part that has been BEDMM-

machined creates compressive (negative) stresses in the superficial layer about 500 MPa . Some result of the investigation shows Figure 6.

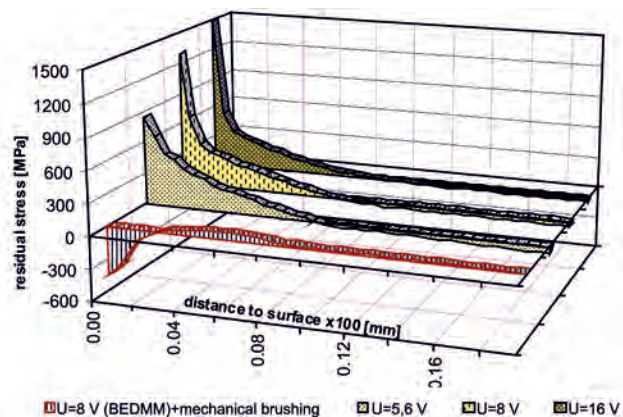


Fig. 6. Residual stresses BEDMM machined workpieces $U = 5.6, 8, 16\text{ V}$, parameters of machining $\Delta = 1\text{ mm}$, $v_0 = 3.6\text{ m/s}$, $v_f = 12\text{ mm/min}$, material of workpiece carbon steel (0.45%C)

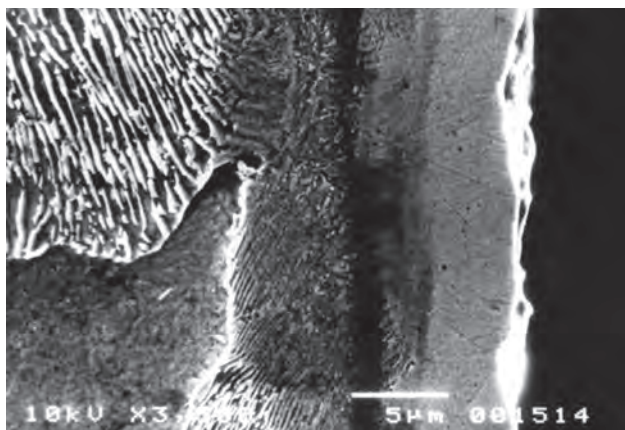


Fig. 7. SEM photographs of the metallographic microstructures of the surface layers after the machining process ($U = 8\text{ Vb}$) using the made of chromium nickel steel (1H18N9) electrode; material of workpiece carbon steel (0.45%C), magnification $3500\times$

The metallographic structure Figure 7 shows features typical of a surface machined by BEDMM. Superficial layer has a gradient structure with an increase of chromium and nickel content. At the top, a molten and resolidified layer, called recast layer, is observed. This layer is usually present because material removal in BEDMM is mainly based on melting process of the workpiece material. In the recast layer in BEDMM condition mixing and diffusion of material working electrode and workpart can occur due to temporary, directly contact electrodes. Below the recast layer a heat affected zone is present. This zone comprises the workpart material which has undergone an influence by heat and has not been molten. In the case of steel, usually hardened [3].

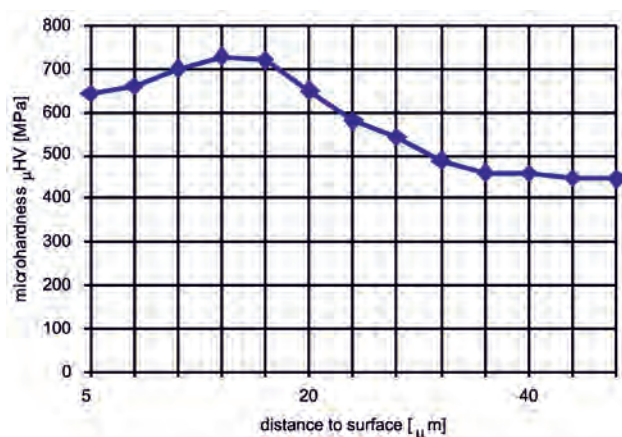


Fig 8. Microhardness distribution in a cross-section of the surface layer after the BEDMM process ($U = 16$ V), hardened steel (NC 10)

Microhardness distribution in a cross-section of the surface layer after the BEDMM process ($U = 16$ V) is shown in Figure 8, material of workpiece – hardened steel (NC 10).

X-ray diffraction pattern obtained from the surface layer after the BEDMM process using a chromium nickel steel electrode shows Figure 9. The chemical composition of the superficial layer after the BEDMM process ($U = 8$ V, DC current generator) using a chromium nickel steel (1H18N9) obtained by an X-ray diffraction analysis:

- workpiece – native material (steel 0.45% C)
Cr 0.09%, Ni 0.08%
- superficial layer machined by 1H18N9 – steel electrode
Cr 9.91%, Ni 5.25%
- chemical composition hot electrode (1H18N9 – steel) electrode
Cr 18.0%, Ni 9.0%

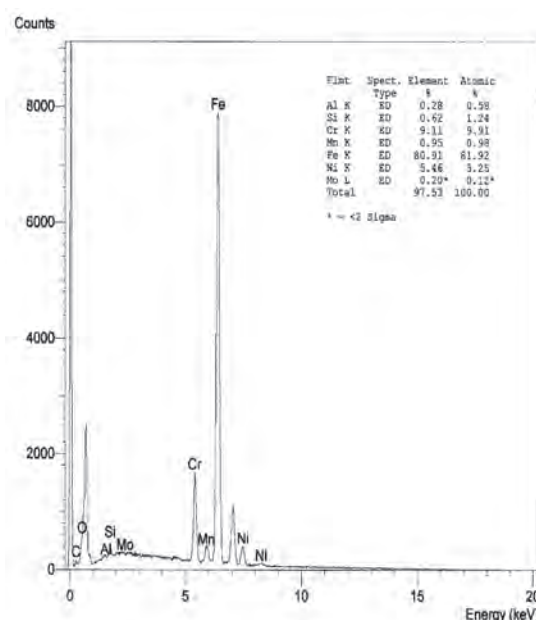


Fig. 9. X-ray diffraction pattern obtained from the surface layer after the BEDMM process using a chromium nickel steel (1H18N9) electrode ($U = 8$ V)

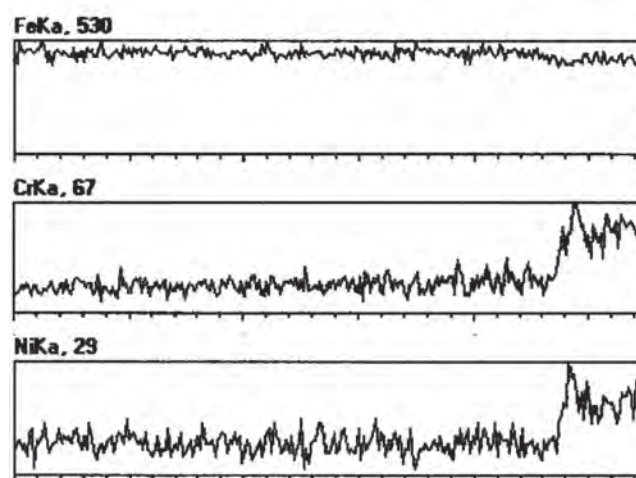
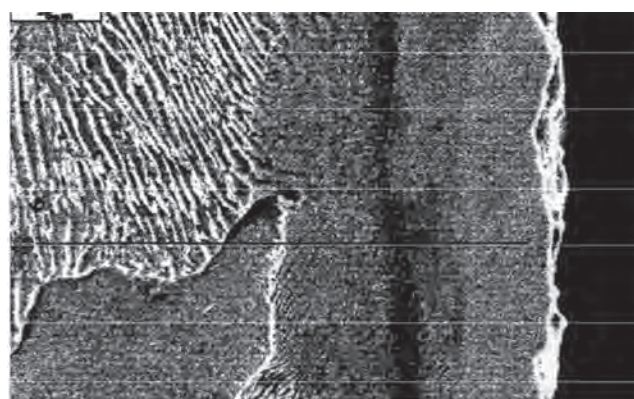


Fig. 10. X-ray line scan of the superficial layer after the BEDMM process ($U = 8$ V) using a chromium nickel steel (1H18N9) electrode – a (magnification 3500x); chemical elements distribution in the sub-surface layer – b

Figure 10a shows microstructure and line scan of X-ray diffraction microanalysis of the surface layer after the BEDMM process using a chromium nickel steel electrode. Figure 10b shows chemical elements distribution in the superficial layer with an increase of chromium and nickel content.

3. Conclusions

The investigations into electro-discharge machining with rotating brush electrodes have shown that:

- the surface layer subjected to the BEDMM process contains chemical components of the hot electrode (cathode);
- analysis of the molten and resolidified layer shows an increase of chromium (up to 10 %) and nickel (up to 5%) content;
- thickness recast layer achieved about 5 – 10 micrometers;
- the metallographic structure of the superficial layer reveals properties that are typical of electroerosion discharge machining;
- the physical properties of the hot electrode and level of voltage significantly influence the machining process and its results;
- if the process is well controlled higher hardness, higher wear resistance of the superficial layer can be achieved.

References

- [1] Davydov A.D., Kozak J.: *Physico-Chemical Principles of Electrochemical Discharge Machining*. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 3, 1991, USA.
- [2] Nowicki B., Spadło S.: *Brush Electro-Discharge Mechanical Machining BEDMM*. Proceedings International Symposium for Electromachining – ISEM-11, Lausanne, Switzerland, April 1995, ISBN 2-88074-291-9, pp. 191–201.
- [3] Nowicki B., Pierzynowski R. Spadło S.: *The Electrodischarge – Based Surface Alloying Process Using Brush Electrode*. Proceedings International Symposium for Electromachining – ISEM-12, Aachen, Germany, May 1998. pp. 289–298.
- [4] Nowicki B., Pierzynowski R. Spadło S.: *The Method of Production Superficial Layer Using Electrical Discharges*. Patent PL 183045, (In Polish).
- [5] Spadło S.: *Comparative Studies of Brush Electrodischarge Machining With Electrodes of Alloy Steel And Tungsten*. Advanced Manufacturing Systems and Technology, International Centre for Mechanical Sciences (CISM), Courses and Lectures – No. 437, Springer – Veralag Wien New York, pp. 515–524, 2002.
- [6] Nowicki B., Pierzynowski R. Spadło S.: *The Superficial Layer of Parts Machined by Brush Electro Discharge Mechanical Machining (BEDMM)*. Journal Engineering Manufacture. Vol. 218 part B, pp. 1–8, 2004.
- [7] Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S.: *New Possibilities of Machining and Electrodischarge Alloying of Free-Form Surfaces*. Journal of Materials Processing Technology Vol. 109. No. (3), pp. 371–376, 2001.
- [8] Nowicki B., Pierzynowski R. Spadło S.: *Comparative Investigation Into The Brush Electrodischarge Alloying With the Electrodes of Alloy Steel and Tungsten*. International Journal For Manufacturing Science And Technology Vol. 4, No.(1), pp. 44–54, 2003.
- [9] Spadło S.: *Theoretical-Experimental Aspects of Electroerosion-Mechanical Machining*. Monograph, Publisher Kielce University of Technology, Kielce, p. 195 (In Polish).
- [10] Spadło S., Dudek D., Łakomiec K., Młynarczyk P.: *Badania wpływu oddziaływań elektrod szczotkowych na konstytuowanie struktury geometrycznej powierzchni*. Inżynieria Maszyn, R16, z.3, Wrocław 2012 (In Polish).
- [11] Spadło S., Dudek D., Łakomiec K., Młynarczyk P.: *Geometrical properties of surface layer after hybrid electrodischarge-mechanical machining using brush electrode*. Innovative Manufacturing Technology. Kraków 2012 (In Polish).

„The work is co-financed from the means of the European Social Fund within the Project „Invention – the key areas of Świętokrzyski region economy supported by young scientists’ potential as well as by the knowledge and innovation transfer”, with the identification number WND-POKL 08.02.01-26-020/1”.

Sławomir Spadło
Piotr Młynarczyk

Badania stanu warstwy wierzchniej stopowanej elektrodami ze stali chromowo-niklowych

1. Wstęp

W budowie maszyn coraz częściej stosuje się różnego rodzaju stopy o specjalnych właściwościach. Materiały te charakteryzują się wyższą wytrzymałością mechaniczną, odpornością na ścieranie oraz odpornością korozyjną. Metody obróbki konwencjonalnej takich materiałów może okazać się trudne, lub nieopłacalne ekonomicznie. W tych okolicznościach, zaleca się stosowanie obróbek niekonwencjonalnych, takich jak obróbka elektroerozyjna, obróbki hybrydowe w tym BEDMM.

BEDMM polega na stopniowym usuwaniu nadmiaru materiału z powierzchni części obrabianej w wyniku oddziaływań elektroerozyjnych, elektrochemicznych i mechanicznych. Oprócz usuwania materiału, procesowi towarzyszy wymiana masy pomiędzy elektrodą a częścią obrabianą powierzchnią. W wyniku tych procesów zmienia się skład warstwy wierzchniej.

2. Badania doświadczalne

Badania mają na celu wyjaśnienie zjawisk zachodzących w trakcie obróbki elektroerozyjno-mechanicznej elektrodą szczotkową, jak również określenie wpływu warunków obróbki na stan warstwy wierzchniej obrabianego przedmiotu.

W procesie BEDMM [2], jako narzędzie stosowana jest obracająca się metalowa szczotka, jako dielektryk zastosowano roztwór szkła wodnego. W procesie obróbki elektroerozyjno-mechanicznej wyładowania elektryczne są głównym czynnikiem wpływającym na modyfikowanie warstwy wierzchniej [10, 11]. W wyniku pojedynczych wyładowań następuje lokalne topnienie i odparowywanie materiału, skutkiem tych oddziaływań są kratery na powierzchni obrabianej, co zostało przedstawione na rysunku 3. W przypadku oddziaływań mechanicznych szczotki następuje redystrybucja ciekłego metalu na powierzchni materiału obrabianego, w wyniku tych oddziaływań wierzchołki chropowatości są wygładzane. Wzrost nacisku elementów elektrody roboczej, przy niskiej wartości napięcia zasilającego może spowodować zerwanie warstwy pasywnej i bezpośredni metaliczny kontakt elektrod.

Szczegółowe badania warstwy wierzchniej wykonanego za wykorzystaniem techniki dyfrakcji rentgenowskiej wykazały, że oprócz usuwania materiału z obrabianej powierzchni, cząstki elektrody roboczej są przekazywane do powierzchni obrabianej. W wyniku tych procesów około powstaje warstwa wierzchnia zmodyfikowana na grubości 5–10 µm.

Część drucików elektrody szczotkowej oddziałuje na powierzchnię obrabianą poprzez wyładowania elektryczne i przenoszenie masy, część natomiast oddziałuje elektromechanicznie [1]. Mechanicznemu kontaktowi drutu z obrabianą powierzchnią towarzyszy przewodzenie prądu bez wyładowania. Wpływa to na wygładzanie pików chropowatości powstałych podczas wyładowań elektrycznych, ponadto następuje wzrost temperatury obrabianej powierzchni.

W skutek nacisku elementów elektrody na powierzchnię obrabianą oraz ruchu obrotowego elektrody szczotkowej z dużą prędkością następuje usuwanie cząstek roztopionego materiału z obrabianych części. Opisany sposób oddziaływań elektrody roboczej powoduje dodatkowe wygładzanie powierzchni.

Efekty finalnego procesu możemy zaobserwować na rysunku 4a, przy napięciu $U = 12$ V. Podczas bliźszego przyjrzenia się profilowi [5] powierzchnia (rys. 4b), wydaje się być asymetryczny. Wyróżnić można tutaj dwie struktury, główną spowodowaną wyładowaniami, drugą będącą wynikiem oddziaływań mechanicznych oraz elektrochemicznych.

Struktura metalograficzna została przedstawiona na rysunku 7 dla powierzchni po typowej obróbce BEDMM.

Skład chemiczny (rys. 9) warstwy wierzchniej po obróbce BEDMM ($U = 8$ V, generator prądu DC), przy użyciu stali niklowo chromowej (1H18N9) otrzymanego w wyniku mikroanalizy rentgenowskiej:

- przedmiot obrabiany – materiału (stal C45, 0,45% C)
Cr 0,09%, 0,08% Ni
- WW obrabiana przez 1H18N9 – elektroda stalowa
Cr 9,91%, 5,25% Ni
- skład chemiczny rozgrzanej elektrody (1H18N9 – stal) elektroda
Cr 18,0%, 9,0% Ni

3. Wnioski

Badania obróbki elektroerozyjnej z zastosowaniem obrotowych szczotek, pokazują, że:

- warstwa powierzchni poddana procesowi obróbki BEDMM zawiera składniki chemiczne elektrody (katoda);
- analiza roztopionej i zakrzepłej warstwy wykazuje wzrost chromu do 10% i niklu do 5%;
- grubość zmodyfikowanej warstwy może osiągnąć około 5–0 mikrometrów;
- struktura metalograficzna warstwy wierzchniej posiada właściwości, które są typowe dla obróbki elektroerozyjnej;
- właściwości fizyczne elektrody roboczej i poziom napięcia znacząco wpływa na proces obróbki i jego wyniki;
- właściwy dobór warunków procesu stopowania umożliwia osiągnięcie wyższej twardości oraz większej odporności na ścieranie zmodyfikowanej warstwy wierzchniej.

„Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Projektu „INWENCJA – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki” o numerze identyfikacyjnym WND-POKL 08.02.01-26-020/1”.

Maria Nowak (Font size 10 pt Times New Roman)
Kielce University of Technology
e-mail: mmmm@tu.kielce.pl

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT (Font size 14 pt Times New Roman)

Abstract

*The abstract should not exceed 10 lines. It should provide information about the objectives of the work, methods used and test results obtained in the course of the experiments/analyses.
(Font size 10 pt Times New Roman Italic)*

Keywords: phrases, words (Font size 10 pt Times New Roman)

1. Introduction

The introduction should present the background of the work (font size 11 pt Times New Roman).

2. Main text

2.1. General information

The paper volume should not exceed 8 pages of A4 size with font size of 11 pt (Times New Roman). The number in square brackets [1] should be used for quotations. The paper should be sent by email to sae@tu.kielce.pl. The papers in the journal are reviewed.

2.2. Figures

Figures (in black and white or colour) should be of good quality and numbered with the sequence of their appearance in the text. They should be centered and have a caption of 10 pt size. High resolution files *.JPG, *.WMF, *.CDR, *.TIFF, *.EPS, *.BMP files should be used and inserted into the text as well as sent as separate files. 10 pt spacing should be left between the figure and the text.

2.3. Tables

Tables should be centered. Titles should be placed above the tables and written with font size of 10 pt (Times New Roman). The same applies to the text in the table (see example below).

Table 1. Title of the table.

No	table	table	table
1	table	table	table
2	table	table	table
3	table	table	table

2.4. Equations

Equations and formulas should be centered and numbered in brackets. 11 pt spacing should be left between the equation and the text above and below it.

3. Conclusions

References (*arranged in the citing order*):

- [1] Nowak M.: *Modelowanie konstrukcyjne (Structural modelling)*. Postępy Technologiczne 10 (2000), pp. 30-34.
[2] Zarylski R.: *Pomiary dynamiczne (Dynamic measurements)*. WNT, Warszawa 1971.
(Font size 10 pt Times New Roman)

Maria Nowak

Tytuł w języku polskim

1. Wprowadzenie

2. Tekst artykułu

Tekst w języku polskim ma odpowiadać swoim układem wersji angielskiej, może być skrócony. Nie powinien zawierać tabel, rysunków, wzorów, a jedynie odniesienie do tych, które znajdują się w wersji angielskiej. Objętość artykułu nie powinna przekraczać 8 stron czcionką 11 (Times New Roman). Bibliografię należy umieszczać w nawiasie kwadratowym [1] i numerować w kolejności alfabetycznej. Artykuły należy przesłać na adres sae@tu.kielce.pl. Artykuły są recenzowane.

3. Wnioski

THE REVIEW PROCESS

The following requirements need to be met by the paper:

- the title should reflect the content of the paper
- the content should be within the thematic scope of the journal
- the paper should be properly and clearly divided into paragraphs
- original elements need to be part of the paper
- the research method should be properly selected
- adequate references need to be cited
- interpretation and conclusions should match the presented test results
- the paper should not contain parts indicating commercial use

